

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-214546

(43)Date of publication of application : 31.07.2002

(51)Int.Cl.

G02B 26/08

(21)Application number : 2001-142370

(71)Applicant : OKI ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 11.05.2001

(72)Inventor : OKAYAMA HIDEAKI

(30)Priority

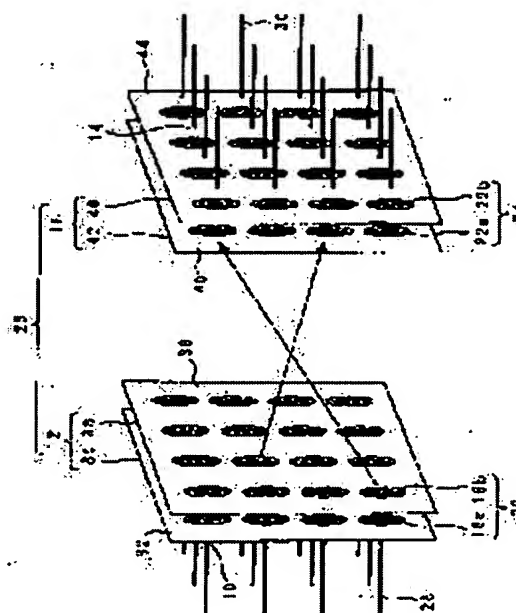
Priority number : 2000348577 Priority date : 15.11.2000 Priority country : JP

## (54) OPTICAL SWITCH

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To set a deflection angle of a light beam which is propagated in the space with good accuracy.

**SOLUTION:** An optical switch 26 is provided with an input side switch element 12 having two or more light input ports 10, and an output side switch element 16 having two or more light output ports 14. Each of the light input ports of the input side switch element is provided with input side light deflection element groups 20 which consist of two light deflection elements 18a and 18b. These light deflection elements are disposed along the incidence direction of the optical signal made incident on the light input port. Each of the light output ports of the output side switch element is provided with output side light deflection element groups 24 which consist of two light deflection elements 22a and 22b. These light deflection elements are disposed along the emission direction of the optical signal emitted from the light output port.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-214546  
(P2002-214546A)

(43)公開日 平成14年 7 月31日 (2002. 7. 31)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
G 0 2 B 26/08

識別記号

F I  
C 0 2 B 26/08

テーマコード\*(参考)  
C 2 H 0 4 1  
E

審査請求 未請求 請求項の数38 O L (全 46 頁)

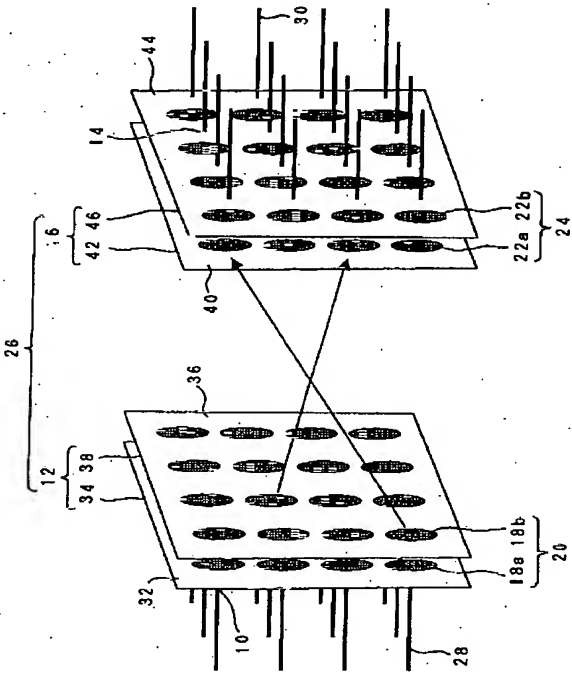
(21)出願番号	特願2001-142370(P2001-142370)	(71)出願人	000000295 沖電気工業株式会社 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号
(22)出願日	平成13年 5 月11日 (2001. 5. 11)	(72)発明者	岡山 秀彰 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気 工業株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2000-348577 (P2000-348577)	(74)代理人	100085419 弁理士 大垣 孝 Fターム(参考) 2H041 AA16 AB14 AB24 AC06 AC08 AZ01 AZ05
(32)優先日	平成12年11月15日 (2000. 11. 15)		
(33)優先権主張国	日本 (J P)		

(54)【発明の名称】 光スイッチ

(57)【要約】

【課題】 空間を伝搬する光ビームの偏向角度の設定を、良好な精度で行う。

【解決手段】 光スイッチ26は、複数個の光入力ポート10を有する入力側スイッチ要素12と、複数個の光出力ポート14を有する出力側スイッチ要素16とを備える。入力側スイッチ要素は、光入力ポートの各々に、2個の光偏向素子18aおよび18bからなる入力側光偏向素子群20を備える。これら光偏向素子は、光入力ポートに入射される光信号の入射方向に沿って配置される。出力側スイッチ要素は、光出力ポートの各々に、2個の光偏向素子22aおよび22bからなる出力側光偏向素子群24を備える。これら光偏向素子は、光出力ポートから出射される光信号の出射方向に沿って配置されている。



(2) 002-214546 (P2002-214546A)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数個の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備え、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、前記入力側スイッチ要素は、前記光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に沿って配置された複数個の光偏向素子からなる入力側光偏向素子群を備え、前記出力側スイッチ要素は、前記光出力ポートの各々に、光信号の出射方向に沿って配置された複数個の光偏向素子からなる出力側光偏向素子群を備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項2】 請求項1に記載の光スイッチにおいて、前記入力側および出力側光偏向素子群は、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な、焦点距離の異なる少なくとも2枚の可動レンズを前記光偏向素子として備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項3】 請求項1に記載の光スイッチにおいて、前記入力側および出力側光偏向素子群は、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズと、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとを前記光偏向素子として備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項4】 複数個の光入力ポートと複数個の光出力ポートとを有しており、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、前記光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、前記光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、前記光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、前記光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、前記光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの光入出力角を拡大するための光学系を備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項5】 請求項4に記載の光スイッチにおいて、前記光学系を、前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの各々の端面に形成された凹面形状の端面とすることを特徴とする光スイッチ。

【請求項6】 請求項5に記載の光スイッチにおいて、前記光学系を、前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの各々の端面に形成された凸面形状の端面とすることを特徴とする光スイッチ。

【請求項7】 複数個の光入力ポートと複数個の光出力ポートとを有しており、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、前記光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、

前記光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、前記光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、前記光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、前記光入力ポートおよび光出力ポートに、光のビーム径を拡大するための光学系を備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項8】 請求項7に記載の光スイッチにおいて、前記光学系が、前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの各々の端部に結合されたカプラと、該カプラの端面に対向して設けられ、該カプラの端面に平行な面内に配置された複数個のレンズとで構成されることを特徴とする光スイッチ。

【請求項9】 複数個の光入力ポートと複数個の光出力ポートとを有しており、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、前記光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを入力側光偏向素子として備え、前記光出力ポートの各々に、光信号の出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを出力側光偏向素子として備え、前記入力側光偏向素子および出力側光偏向素子間に、入力側の前記可動ミラーで反射された光を出力側の前記可動ミラーに集光するための光学素子が設けられることを特徴とする光スイッチ。

【請求項10】 請求項9に記載の光スイッチにおいて、前記光学素子が、前記入力側光偏向素子および出力側光偏向素子間における光経路に対応して個別に設けられることを特徴とする光スイッチ。

【請求項11】 複数個の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素を備え、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、前記入力側スイッチ要素と前記出力側スイッチ要素との間に配設されていて、前記入力ポートからの各光信号が、入射光として入射され、かつ、該入射光に対応する出射光を、各光線束の中心光路が互いに平行となるように、出射させる光学素子を備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項12】 請求項11に記載の光スイッチにおいて、前記光学素子として、凸レンズを用い、前記入力側スイッチ要素は、前記凸レンズの焦平面に設置してあり、前記光学素子を挟んでその前後に対称的に、前記出力側スイッチ要素と前記入力側スイッチ要素とを配置してあることを特徴とする光スイッチ。

(3) 002-214546 (P2002-214546A)

【請求項13】 請求項11に記載の光スイッチにおいて、前記光学素子として、ホログラムを用い、前記入力側スイッチ要素は、前記ホログラムの焦平面に設置してあり、

前記光学素子を挟んでその前後に対称的に、前記出力側スイッチ要素と前記入力側スイッチ要素とを配置してあることを特徴とする光スイッチ。

【請求項14】 請求項11に記載の光スイッチにおいて、前記光学素子として凹面鏡を用い、前記入力側スイッチ要素は、前記凹面鏡の焦平面に設置するとともに、

前記出力側スイッチ要素を前記入力側スイッチ要素で共用させてあることを特徴とする光スイッチ。

【請求項15】 請求項12、13及び14のいずれか一項に記載の光スイッチにおいて、

前記複数の入力ポートの各々は、該入力ポートにそれぞれ対応付けられた入力側レンズ系を有し、前記複数の出力ポートの各々は、該出力ポートにそれぞれ対応付けられた出力側レンズ系を有していて、前記入力側レンズ系から前記出力側スイッチ要素へ光が出射する面、及び前記入力側スイッチ要素から前記出力側レンズ系へ光が入射する面には、凹レンズが設置されていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項16】 請求項15に記載の光スイッチにおいて、前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、

固定レンズもしくは前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズと、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとから構成されていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項17】 請求項16に記載の光スイッチにおいて、前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、前記固定レンズもしくは前記可動レンズと前記可動ミラーとの間に凹レンズを設置してあることを特徴とする光スイッチ。

【請求項18】 請求項12に記載の光スイッチにおいて、前記凸レンズは、前記入力側スイッチ要素および出力側スイッチ要素間における光経路に対応して個別に設けられる第1凸レンズと、

該第1凸レンズを挟んで形成される第2凸レンズとから成り、

前記複数の入力ポートの各々は、該入力ポートにそれぞれ対応付けられた入力側レンズ系を有し、

前記複数の出力ポートの各々は、該出力ポートにそれぞれ対応付けられた出力側レンズ系を有していて、

前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、

固定レンズもしくは前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズと、前記光信号

の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとから構成されていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項19】 請求項13に記載の光スイッチにおいて、

前記複数の入力ポートの各々は、該入力ポートにそれぞれ対応付けられた入力側レンズ系を有し、

前記複数の出力ポートの各々は、該出力ポートにそれぞれ対応付けられた出力側レンズ系を有していて、

前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、

固定レンズもしくは前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズと、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとから構成されていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項20】 マトリックス配列された複数の入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、

マトリックス配列された複数の出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備え、

前記入力ポートの各々は、該入力ポートにそれぞれ対応付けられた入力側レンズ系を有し、

前記出力ポートの各々は、該出力ポートにそれぞれ対応付けられた出力側レンズ系を有していて、

前記入力ポート側から前記出力ポート側に光信号を出力させる光スイッチにおいて、

前記入力側及び出力側レンズ系のうち、前記マトリックス配列の少なくとも周縁側の入力側及び出力側レンズ系を、該周縁側の入力側レンズ系を通る光信号を前記マトリックス配列の中心側の出力側レンズ系に導くことが出来るように動作する固定もしくは可動レンズ系とすることを特徴とする光スイッチ。

【請求項21】 請求項20に記載の光スイッチにおいて、前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、前記光信号の入射方向または出力方向に垂直な面内で移動可能な、焦点距離の異なる少なくとも2枚の可動レンズより構成されることを特徴とする光スイッチ。

【請求項22】 請求項20に記載の光スイッチにおいて、

前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、固定レンズもしくは前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズと、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとから構成されていて、

前記入力ポートからの各光信号が、入射光として入射され、かつ、該入射光に対応する出射光を集光するための光学素子が、前記入力側スイッチ要素と前記出力側スイッチ要素との間に、配設されていることを特徴とする光スイッチ。

:(4) 002-214546 (P2002-214546A)

【請求項23】 請求項22に記載の光スイッチにおいて、前記光学素子は、前記入力側光偏向素子および出力側光偏向素子間における光経路に対応して個別に設けられていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項24】 請求項22に記載の光スイッチにおいて、前記光学素子として、平面鏡を用いるとともに、前記入力側スイッチ要素を、前記出力側スイッチ要素で共用していることを特徴とする光スイッチ。

【請求項25】 複数個の入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備え、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、

前記入力側スイッチ要素は、第1及び第2光ユニットを備え、及び前記出力側スイッチ要素は、第3及び第4光ユニットを備えており、

前記第1光ユニットは、入力側導光路と、該入力側導光路からの光信号を集光する入射側レンズ系との組合せを、前記光入力ポートの各々に対応付けて複数対備え、前記第2光ユニットは、前記レンズ系と対応付けて設けられ、これらレンズ系からの光信号を反射させる複数の第1可動ミラーを備え、

前記第3光ユニットは、前記第2光ユニットの可動ミラーからの光信号を個別に反射させる複数の第2可動ミラーを備え、

前記第4光ユニットは、前記第2可動ミラーからの光信号を集光する出射側レンズ系と、該レンズ系から光信号が入射する出力側導光路との組合せを、前記光出力ポートの各々に対応付けて複数対備えていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項26】 請求項25に記載の光スイッチにおいて、前記第1、第2、第3、第4光ユニットは、共通の基板上に設けられていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項27】 請求項25または26に記載の光スイッチにおいて、前記第1光ユニット内では、前記入力側導光路が第1基板に固定されており、及び前記入射側レンズ系も第2基板に固定されており、前記第4光ユニット内では、前記出射側レンズ系が第3基板に固定されており、及び前記出力側導光路も第4基板に固定されていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項28】 請求項27に記載の光スイッチにおいて、前記第1基板から前記第4基板は、熱膨張係数が同一の基板であることを特徴とする光スイッチ。

【請求項29】 請求項26または27に記載の光スイッチにおいて、前記前記第1基板から前記第4基板、さらに前記共通基板の熱膨張係数が同一であることを特徴とする光スイッチ。

【請求項30】 請求項27に記載の光スイッチにおいて、前記第1基板から前記第4基板は、小さい熱膨張係数を有する基板であることを特徴とする光スイッチ。

【請求項31】 請求項26または27に記載の光スイッチにおいて、前記前記第1基板から前記第4基板、さらに前記共通基板が、小さい熱膨張係数であることを特徴とする光スイッチ。

【請求項32】 スイッチング用可動部を有する光スイッチと、該光スイッチからの出射光をモニターするモニタ部と、該モニタ部からのモニタ信号に応答して、前記スイッチング用可動部を制御することにより、前記光スイッチのスイッチングの制御状態を調整するための動作制御部とを備えることを特徴とする光スイッチ装置。

【請求項33】 請求項32に記載の光スイッチ装置において、前記スイッチング用可動部は、前記光スイッチへ光信号を入力する光信号導入手段を有し、前記モニタ部は、光信号分配部を備える光信号出力手段と、モニタとを有していて、

前記光信号分配部は、前記モニタ及び当該光スイッチ装置の外部に、前記光スイッチから出力した前記光信号を分配して、出力することを特徴とする光スイッチ装置。

【請求項34】 請求項33に記載の光スイッチ装置において、前記光信号導入手段は、監視用信号出力源と、信号合成部とを有していて、

前記信号合成部は、前記監視用信号出力源より出力された監視用信号と入力された前記光信号とを、ひとつの合成信号にした後前記光スイッチへ入力させ、

前記光信号分配部は、前記光スイッチから出力された前記合成信号から前記光信号のみを取りだして、光スイッチ装置の外部へ出力するためのフィルターを具備していることを特徴とする光スイッチ装置。

【請求項35】 請求項34に記載の光スイッチ装置において、前記監視用信号出力源の動作は、前記動作制御部によって制御されることを特徴とする光スイッチ装置。

【請求項36】 請求項32に記載の光スイッチ装置において、

前記光スイッチは、第1の光スイッチと第2の光スイッチを有していて、

前記スイッチング用可動部は、前記第1の光スイッチ及び前記第2の光スイッチへ光信号を入力するために、互いに同一構成の第1の光信号導入手段と第2の光信号導入手段を有し、

前記モニタ部は、互いに同一構成の第1の光信号出力手段と第2の光信号出力手段を有しており、

前記第1及び第2の光信号出力手段は、それぞれ、光信号分配部と、モニタとを有していて、

前記光信号分配部は、前記モニタ及び当該光スイッチ装置の外部に、前記光スイッチから出力した前記光信号を分配して、出力することを特徴とする光スイッチ装置。

【請求項37】 請求項36に記載の光スイッチ装置において、前記第1及び第2の光信号導入手段は、それぞれ、監視用信号出力源と信号合成部とを有していて、

(5) 002-214546 (P2002-214546A)

前記信号合成部は、前記監視用信号出力源から出力された監視用信号と当該光スイッチ装置へ入力された前記光信号とをひとつの合成信号にした後、前記第1及び第2の光スイッチへ入力させ、

前記第1及び第2の光信号出力手段は、前記光信号分配部から出力された前記合成信号から前記光信号のみを取りだして、光スイッチ装置の外部へ出力するためのフィルタを具えていることを特徴とする光スイッチ装置。

【請求項38】 請求項37に記載の光スイッチ装置において、前記監視用信号出力源の動作は、前記動作制御部によって制御されることを特徴とする光スイッチ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、複数個の入力ポートのうちのいずれかに入力された光信号を、複数個の出力ポートのうちのいずれかに出力させる光スイッチに関する。

【0002】

【従来の技術】文献1「Proceedins of 3rd International Conference on Micro Opt Electro Mechanical Systems(MOEMS 99), Paper 26, 29th/8/'99」、文献2「米国特許第5923480号, 13th/7/1999」、文献3「特開2000-10029」および文献4「Optical Fiber Communication (OFC) 2000 論文集 講演PD20, 2000年3月」に、従来の光スイッチが開示されている。

【0003】ここでは、従来の光スイッチの一例として、文献3特開2000-10029号公報に記載されているものを、図44に示す。

【0004】図44(A)は、この従来の光スイッチ4400の構成の説明図である。この光スイッチ4400は、幾つかの光偏向素子4402(4402a、4402b)とミラー4404とを具える。

【0005】ミラー4404は光スイッチ4400内の所定位置に固定されている。また、光偏向素子4402は、このミラー4404と空間を隔てて向き合う基板4406上に、整列されて、配置されている。

【0006】上述の光偏向素子4402(4402a、4402b)のそれぞれに対して、光入出力ポートが設けられる。これらの光入出力ポートには、光ファイバ4408(4408a、4408b)の端部が挿入され、さらにこの端部は光偏向素子4402内に挿入され、その内部に固定されている。

【0007】次に、上記の構成の光スイッチ4400における動作を説明する。この光スイッチ4400においては、それぞれの光入出力ポートで、光の入力と出力が同時に行われている。

【0008】光ファイバ4408bの端部より出射した光は、光偏向素子4402bに入力され、ここで偏向さ

れる。その後、光偏向素子4402bより出射された光は、ミラー4404にて反射され、再び光偏向素子4402aに入射する。この光偏向素子4402aにて、光ファイバ4408a内に導かれ、光入出力ポートより出力される。

【0009】次に、光偏向素子4402の構成を図44(B)に示す。この光偏向素子4402中には、光入出力ポートより挿入された光ファイバ4408と、コリメートレンズ4410、固定ミラー4412、可動ミラー4414が設置されている。

【0010】光入出力ポートより入力された光は、光偏向素子4402内の光ファイバ4408の端部より出射される。この光は、コリメートレンズ4410によって集光され、固定ミラー4412に反射されて可動ミラー4414方向に偏向される。そして、この可動ミラー4414において、任意の偏向角で反射される。

【0011】この可動ミラー4414は光の入射方向に、垂直な回転軸を有しており、2軸に可動する。可動ミラー4414の回転の調整は、任意の手段を用いて行われている。

【0012】よって、この可動ミラー4414においては、任意の偏向角でミラー4404(図44(A))に向けて光を反射することができる。そして、光はミラー4404を経て、所定の光偏向素子4402aの方向へ、出射される。

【0013】一方、再び光偏向素子4402aに入射した光は、図44(B)に示した矢印の方向とは逆方向に進み、可動ミラー4414によって偏向される。その後、光は固定ミラー4412によって反射されて、コリメートレンズ4410にて集光され、光ファイバ4408a内に入力され、入出力ポートより出力される。この場合、可動ミラー4414では、光ファイバ4408aへ光を入射させるために、偏向角の調整が行われる。

【0014】以上のように、この種の光スイッチは、一段の光偏向素子群で構成され、これらは、それぞれ可動ミラー若しくは可動レンズが用いられる。そして、可動ミラー(あるいは可動レンズ)を用いて空間を伝搬する光ビームの方向を制御することで、所定の出力ポートへ光信号を導く。この光スイッチによれば、3次元空間配線を用いているため、ポート数の拡大が容易である。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のような光スイッチでは、一つの偏向素子で、空間を伝搬する光ビームの偏向角度の設定を、かなり高い精度で行う必要がある。また、以下に説明するように、その精度の実現は非常に困難である。

【0016】通常の光通信システムで用いられる光ファイバの直径は8ミクロン程度である。光ファイバに対して、1ミクロン程度の位置ずれ精度で光を入力しなければ、ロスが1dB以上生じて、実用上問題となる。出力

(6) 002-214546 (P2002-214546A)

ポートの間隔は実装上数百ミクロン以上必要とされるので、2チャンネルの装置であっても、偏向角には0.1%程度の精度が必要である。さらにこれが、数十チャンネル以上の装置となると $10^{-4}$ 台の精度が要求される。

【0017】また、可動ミラーを用いた100チャンネルの装置では、偏向角に1%程度の精度が必要とされる。さらにこれが、千チャンネル以上の装置となると0.3%の精度が要求される。

【0018】従来、この問題を解決する方法として、光ビームに位置検出用の信号をのせて偏向角を検出し、検出された角度を偏向角コントロール系にフィードバックする方法が知られている。しかし、この方法には、電気的処理速度の関係で高速なスイッチングが行えないという欠点がある。偏向用ミラーに角度検出機構を組み込み、フィードバックにより制御する方法も知られているが、高い精度が得られないという欠点がある。

【0019】この発明の目的は、以上のような従来技術の問題点に着目して、光スイッチに設けられた各光偏向素子が必要とする精度を緩和することにある。

【0020】また、この発明の他の目的は、チャンネル数の増大をはかり、光スイッチング速度を高速で行うことにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】この発明の第1の光スイッチによれば、複数の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備える。この光スイッチは、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させるものである。

【0022】上述の入力側スイッチ要素は、光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に沿って配置された複数の光偏向素子からなる入力側光偏向素子群を備える。また、上述の出力側スイッチ要素は、光出力ポートの各々に、光信号の出射方向に沿って配置された複数の光偏向素子からなる出力側光偏向素子群を備える。

【0023】この第1の光スイッチの構成によれば、光ファイバより出力した光信号が、入射光として各光偏向素子に入射され、複数の光偏向素子によって偏向され、所望の光出力ポートへ向けて出射される。このため、入力側光偏向素子群に含まれる各光偏向素子に、偏向角度の精度は振り分けられる。したがって、各光偏向素子の必要精度が緩和される。

【0024】また、この発明の第2の光スイッチによれば、複数の光入力ポートと複数の光出力ポートとを有しており、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、

光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの光入出力角を拡大するための光学系を備える。

【0025】この第2の光スイッチの構成によれば、回折角度を大きくとることにより、必要な光束幅を確保しつつ、レンズとレンズ焦点面との距離を縮めることが可能である。この結果、必要な精度を確保しつつもチャンネル数の増大が図れる。

【0026】また、この発明の第3の光スイッチによれば、複数の光入力ポートと複数の光出力ポートとを有しており、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、光入力ポートおよび光出力ポートに、光のビーム径を拡大するための光学系を備える。

【0027】この光学系は、幅広の導波部であるカプラと、このカプラの端面に平行な面内に配置された複数の小レンズから構成されるコリメータレンズを備えている。

【0028】よって、この第3の光スイッチの構成によれば、このコリメータレンズにおいて、回折角を大きくしなくても、同一の光束径、焦点距離で、必要な精度を確保しつつもチャンネル数の増大が図れる。

【0029】また、この発明の第4の光スイッチによれば、複数の光入力ポートと複数の光出力ポートとを有しており、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを入力側光偏向素子として備え、光出力ポートの各々に、光信号の出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを出力側光偏向素子として備え、入力側光偏向素子および出力側光偏向素子間に、入力側の可動ミラーで反射された光を出力側の可動ミラーに集光するための光学素子が設けられている。

【0030】このとき、光入力ポートに備えられた光ファイバおよび可動ミラー間には、光入力ポートごとにコリメータレンズが設けられている。同様に、光出力ポートに備えられた光ファイバおよび可動ミラー間には、光出力ポートごとにコリメータレンズが設けられている。

【0031】この構成によれば、全ての光入力ポートに備えられた光ファイバからの光は、これらコリメータレンズによって可動ミラー上に集光することが可能となる。よって、可動ミラーの角度制御精度が緩和されるので、ミラー角の切り替えを高速で行うことが可能になる。

【0032】また、この発明の第5、第6の光スイッチは、複数の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素



(7) 002-214546 (P2002-214546A)

と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素を備え、これらの間に、光学素子が配設されている。この光学素子は、光入力ポートからの各光信号が、入射光として入射され、かつ、この入射光に対応する出射光を、各光線束の中心光路が互いに平行となるように、出射させる。そして、この出射光を再び各光信号として、光出力ポートの各々に対応付けられて設けられた光ファイバへ出力する。

【0033】この構成の光スイッチにおいては、光学素子として、一枚で構成される凸レンズ、ホログラムが用いられる。

【0034】また、この光学素子を挟んで前後に対称的に、出力側スイッチ要素と入力側スイッチ要素は配置される。

【0035】ところで、第5の光スイッチにおいて、複数個の入力ポートの各々は、これら入力ポートに対応付けられた入力側レンズ系を有し、複数個の出力ポートの各々は、これら出力ポートに対応付けられた出力側レンズ系を有して、入力側レンズ系から出力側スイッチ要素へ光が出射する面、及び入力側スイッチ要素から出力側レンズ系へ光が入射する面には、凹レンズが設置されている。

【0036】よってこの第5の光スイッチにおいて、各入力ポートから出射した光は、この凹レンズを通過して、発散する光に変換される。そして、出力ポートと入力ポートの間に設置された光学素子によって、光線束の中心光路は互いに平行に出力ポートに入射される。どの出力ポートに入射するかは、この凹レンズからの出射角による。しかし、この出射角は、凹レンズへの光束の入射角に依存しない。

【0037】ここで、この第5の光スイッチにおいて、光学素子として凹面鏡を用いたときは、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素を共用することができる。

【0038】ところで、第6の光スイッチにおいて、光学素子として凸レンズを用いたとき、この凸レンズは、第1凸レンズと、第1凸レンズを挟んで形成される第2凸レンズとから形成される。第2凸レンズは一枚で構成されるが、第1凸レンズは、複数個のレンズが一平面内に配列された構造のコリメート用素子である。

【0039】そして、この第6の光スイッチにおいては、複数個の入力ポートの各々は、これら入力ポートに対応付けられた入力側レンズ系を有し、複数個の出力ポートの各々は、これら出力ポートに対応付けられた出力側レンズ系を有して、入力側レンズ系及び出力側レンズ系は、固定レンズ（もしくは光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズ）と、光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとから構成されている。この可動ミラーは、第1凸レンズに対して、ひとつ置きにではなく、連続して基板上に配列される。

【0040】このとき、入力側レンズ系に設けられた可動ミラーは、第2凸レンズの焦点位置に配置される。また、入力側レンズ系に設けられた可動ミラーのすべての光束が、出力側スイッチ要素に到達するように、光学素子を対称軸として前後で対象の位置に、入力側スイッチ要素と、出力側スイッチ要素は配置される。

【0041】このような構成の第6の光スイッチにおいては、入力側レンズ系に設けられた可動ミラーの位置と第1凸レンズの相対位置によって、出力側レンズ系に設けられた可動ミラーのどれに行くかは決まるため、第1凸レンズのどれを選ぶかによって、どの出力ポートより光信号が出力するか決定される。

【0042】つぎに、この発明の第7の光スイッチは、マトリックス配列された複数個の入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、マトリックス配列された複数個の出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備えている。そして、この入力ポートの各々は、これら入力ポートに対応付けられた入力側レンズ系を有し、同様に出力ポートの各々は、これら出力ポートに対応付けられた出力側レンズ系を有している。入力ポート側より出力した光信号は、出力ポート側に出力される。

【0043】さらに、この入力側及び出力側レンズ系のうち、マトリックス配列の少なくとも周縁側の入力側及び出力側レンズ系を、この周縁側の入力側レンズ系を通る光信号を、マトリックス配列の中心側の出力側レンズ系に導くことが出来るように動作する固定もしくは可動レンズ系とする。

【0044】以上のような、第5～7の光スイッチの構成によれば、出力ポートへ光を出射させるとき、入力側スイッチ要素のどの入力ポートにある光偏向素子においても、とりうる偏向角の値の範囲は同じであるため、チャネル数の増大をはかることができる。

【0045】また、第6、7の光スイッチは、入力側レンズ系に設けられた可動ミラーの傾き角と出力ポートの関係が一対一に対応できるため、駆動が簡単となる。

【0046】次に第8の光スイッチは、複数個の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備え、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる。

【0047】この第8の光スイッチにおいて、入力側スイッチ要素は、第1及び第2光ユニットを備え、及び出力側スイッチ要素は、第3及び第4光ユニットを備えている。

【0048】ここで、第1光ユニットは、入力側導光路と、入力側導光路からの光信号を集光する入射側レンズ系との組合せを、光入力ポートの各々に対応付けて複数対備え、第2光ユニットは、入射側レンズ系と対応付けて設けられ、これら入射側レンズ系からの光信号を反射させる複数の第1可動ミラーを備えている。入力側導光

(8) 002-214546 (P2002-214546A)

路は入射側レンズ系の各々に、対応付けて設けられている。

【0049】また、第3光ユニットは、第2光ユニットの可動ミラーからの光信号を個別に反射させる複数の第2可動ミラーを備え、第4光ユニットは、第2可動ミラーからの光信号を集光する出射側レンズ系と、このレンズ系から光信号が入射する出力側導光路との組合せを、光出力ポートの各々に対応付けて複数対備えている。

【0050】また、これら第1、第2、第3、第4光ユニットは、共通の基板上に設けられている。

【0051】さらに、第1光ユニット内は、入力側導光路が第1基板に固定されており、同様に入射側レンズ系も第2基板に固定されており、第4光ユニット内は、出射側レンズ系が第3基板に固定されており、同様にして出力側導光路も第4基板に固定されている。

【0052】この第8の光スイッチは、好ましくは、第1基板から第4基板に、熱膨張係数が小さいか、同一の基板を用いる。

【0053】さらに、この第8の光スイッチは、第1基板から第4基板、さらに共通基板の熱膨張係数が小さいか、同一である場合があってもよい。

【0054】この第8の光スイッチにおいて、第1光ユニットに設けられた入力側導光路から出射した光信号は、入射側レンズ系の入射光となる。そして、ここで集光され、第2光ユニットに設けられた第1可動ミラーにて、第3光ユニットに設けられた所望の第2可動ミラーへ偏向される。この第2可動ミラーにてさらに偏向された光は、第4光ユニットに設けられたレンズ系を経て、出力側導光路に入射される。

【0055】ここで温度変動により、共通基板が膨張したとする。このとき、第1光ユニット及び第4光ユニットは、共通基板と同様に膨張する。

【0056】しかし、第1基板と第2基板、及び第3基板と第4基板の熱膨張係数が同一であれば、第2光ユニットに設けられた第1可動ミラーへの光の入射位置ずれは生じるが、入射角度は変動しない。この第1可動ミラーの角度における温度変動は小さいので、光ビームの伝搬角度も変化はない。

【0057】このとき第3光ユニットに設けられた第2可動ミラーにおいても、光は入射位置が変動するだけであって、入射角度の変動は無い。また、第2可動ミラーの温度による角度変化は小さいため、出射側レンズ系への光の入射位置は変動するものの、入射角度の変動は無い。

【0058】このように第8の光スイッチの構成においては、温度変化があったとしても焦点位置ずれを最小とし、光ファイバへの入力角度ずれのみを生じさせ、光出力に対する影響がより少ない構造としたため、温度変化による出力パワー変動を抑えることが可能となる。

【0059】つぎに、これら第1～8の光スイッチを用

いた光スイッチ装置について、説明する。この発明の光スイッチを用いた光スイッチ装置は、スイッチング用可動部を有する光スイッチと、光スイッチからの出射光をモニタするモニタ部と、モニタ部からのモニタ信号にตอบสนองして、スイッチング用可動部を制御することにより、光スイッチのスイッチングの制御状態を調整するための動作制御部とを備える。

【0060】この光スイッチ装置は、第1の光スイッチと第2の光スイッチを有している。

【0061】スイッチング用可動部は、構成が全く同一で、第1及び第2の光スイッチへ光信号を入力する第1の光信号導入手段と第2の光信号導入手段を有し、モニタ部も、構成が全く同一の第1の光信号出力手段と第2の光信号出力手段を有している。

【0062】第1及び第2の光信号導入手段は、監視用信号出力源と、信号合成部とを有していて、監視用信号出力源より出力された監視用信号と、入力された光信号とを、信号合成部にてひとつの合成信号にした後、第1及び第2の光スイッチへ入力させる。

【0063】また、第1、第2の光信号出力手段は、光信号分配部とモニタとを有していて、光信号分配部は、モニタ及び光スイッチ装置の外部に、光スイッチより出力した光信号を分配して、出力する。

【0064】さらに、この光スイッチ装置によれば、第1及び第2の光信号出力手段にフィルターを設け、光信号分配部より出力された合成信号から光信号のみを取りだし、光スイッチ装置の外部へ出力する。監視用信号出力源の動作は、動作制御部にて制御される。

【0065】第2の光スイッチは予備用に使用されるほか、スイッチング用可動部からの光信号を、第1及び第2の光信号出力手段へ、放送分配するときにも使用されることが好ましい。

【0066】よって、この光スイッチ装置の構成において、光スイッチの状態監視が可能となり、しかも予備系の配置と2方向への放送分配機能が、少ない部品数で実現される。

【0067】

【発明の実施の形態】以下、図を参照して、この発明の実施の形態につき説明する。なお、図は、この発明を理解できる程度に、形状、大きさおよび配置関係を概略的に示すものに他ならない。よって、この発明は、図示例に何ら限定されるものではない。さらに、説明に用いる各図において、同様な構成成分については同一の符号を付して示しており、重複する説明は省略している。

【0068】またこの際、これら実施の形態における動作を説明するために、光束の形状を必要に応じて図示する。また、この発明で扱われる光学系は、近軸光線とする。

【0069】[第1の実施の形態] 図1は、第1の実施の形態の光スイッチの構成を示す斜視図である。この光

(9) 002-214546 (P2002-214546A)

スイッチ26は、複数個の光入力ポート10を有する入力側スイッチ要素12と、複数個の光出力ポート14を有する出力側スイッチ要素16とを備える。図1に矢印で光線の様子を示してある。この光スイッチによれば、光入力ポート10のいずれかに入力された光信号が光出力ポート14のいずれかから出力される。

【0070】上述の入力側スイッチ要素12は、光入力ポート10の各々に、2個の光偏向素子18aおよび18bからなる入力側光偏向素子群20を備える。これら光偏向素子18aおよび18bは、光入力ポート10に入射される光信号の入射方向に沿って配置されている。

【0071】また、上述の出力側スイッチ要素16は、光出力ポート14の各々に、2個の光偏向素子22aおよび22bからなる出力側光偏向素子群24を備える。これら光偏向素子22aおよび22bは、光出力ポート14から出射される光信号の出射方向に沿って配置されている。

【0072】入力側スイッチ要素12と出力側スイッチ要素14とは、構造的に同じものである。

【0073】この例では、入力側スイッチ要素12への光入力手段として、光ファイバ28が用いられる。この光ファイバ28の出力端面が、上述の光入力ポート10に接続される。また、出力側スイッチ要素16からの光出力手段として、光ファイバ30が用いられる。この光ファイバ30の入力端面が、上述の光出力ポート14に接続される。

【0074】このように、この実施の形態の光スイッチによれば、入力側光ファイバ群と出力側光ファイバ群との間に3次元光配線が構成される。そして、この3次元光配線を実現するための上述した光偏向素子群は、2個の光偏向素子からなる二段構成になっている。このように、従来構成では光偏向素子群が一段構成であったのに対して、この実施の形態の構成では二段構成になっている。

【0075】なお、この実施の形態では、入力側光偏向素子群20を構成する一方の光偏向素子18aは基板32上に設置される。各ポートの光偏向素子18aが基板32上に配置されて、第1偏向素子アレイ34が構成される。同様に、入力側光偏向素子群20を構成する他方の光偏向素子18bも別の基板36上に設置される。各ポートの光偏向素子18bが基板36上に配置されて、第2偏向素子アレイ38が構成される。これら第1および第2偏向素子アレイ34および38が、入力側スイッチ要素12を構成している。

【0076】また、出力側光偏向素子群24を構成する一方の光偏向素子22aは基板40上に設置される。各ポートの光偏向素子22aが基板40上に配置されて、第3偏向素子アレイ42が構成される。同様に、出力側光偏向素子群24を構成する他方の光偏向素子22bも別の基板44上に設置される。各ポートの光偏向素子2

2bが基板44上に配置されて、第4偏向素子アレイ46が構成される。これら第3および第4偏向素子アレイ42および46が、出力側スイッチ要素16を構成している。

【0077】なお、各光偏向素子は分離して、単独に設けられていても良く、あるいは複数の基板に分割して設けられていても良い。

【0078】この実施の形態では、第1、第2、第3および第4偏向素子アレイ34、38、42および46がこの順序で、各基板32、36、40および44が平行となるように配列されている。

【0079】また、光ファイバ28および30は、それぞれ不図示の保持部材例えば基板によって整列した状態で保持される。このような基板には、精密な位置精度で光ファイバを位置決めするためのガイドが、種々の好適な方法によって形成されている。

【0080】この実施の形態では、上述の光偏向素子18a、18b、22aおよび22bとして可動レンズが用いられている。この可動レンズは、光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能なレンズである。また、各光偏向素子群20および24を構成する2枚の可動レンズは焦点距離が異なっている。

【0081】図2は、可動レンズの構成例を示す平面図である。レンズ48は、微動台50上の4つのアクチュエータ52、54、56および58によって支持されている。レンズ48は、アクチュエータ52および54を駆動させることで、微動台50の面内の一方方向、図2の例では図中の上下方向に移動する。また、レンズ48は、アクチュエータ56および58を駆動させることで図2中の左右方向に移動する。微動台50の面には光透過孔50aが開けられており、レンズ48はこの孔50aに対して相対的に移動する。また、微動台50はスライダ60によって支持されており、大きなぶれが生じないように図2中の左右方向に移動可能である。この構成はあくまでも一例であって、他の種々の構成を適用することができる。

【0082】図3は、図1に示した光スイッチの一部の断面を示す図である。図3に示すように、光偏向素子18a、18b、22aおよび22bとして可動レンズが用いられている。可動レンズ18aは、基板32上にアクチュエータ62を介して保持されている。可動レンズ18bは、基板36上にアクチュエータ64を介して保持されている。可動レンズ22aは、基板40上にアクチュエータ66を介して保持されている。可動レンズ22bは、基板44上にアクチュエータ68を介して保持されている。各可動レンズは、各アクチュエータにより、各基板面に沿って移動可能である。

【0083】基板32、36、40および44それぞれには、光を通すための開口32a、36a、40aおよび44aが形成されている。基板36および40の側で

(註 0) ) 02-214546 (P2002-214546A)

は光の偏向角が大きくなるため、基板 36 および 40 が厚い場合には図示のように面取りをして、光束がかからないようにする必要がある。なお、基板 32、36、40 および 44 が、使用する光の波長に対して透明な材料である場合には必ずしも上述した開口は必要ではない。また、基板 32 と基板 36 とは、レンズ 18a および 18b 間の間隔をとるために、スペーサを介して貼り付けられる。同様に、基板 40 と基板 44 とは、レンズ 22a および 22b 間の間隔をとるために、スペーサを介して貼り付けられる。

【0084】図 3 に示すように、入力側光ファイバ 28 からの出射光は、入力側スイッチ要素のレンズ対 18a および 18b で平行光にされた後、出力側スイッチ要素のレンズ対 22a および 22b によって出力側光ファイバ 30 に集光される。

【0085】また、図 4 に示すように構成しても良い。図 4 は、入力側スイッチ要素の断面を示す図である。基板 70 には、光ファイバ 78 からの出射光を通すための開口 70a が形成されている。この開口 70a の位置に光偏向素子群が設けられている。この例では、光偏向素子群を構成する 1 対の光偏向素子が一枚の基板 70 に設けられる。すなわち、1 段目の光偏向素子である可動レンズ 72a は、アクチュエータ 74 を介して基板 70 に保持される。さらに、2 段目の光偏向素子である可動レンズ 72b は、アクチュエータ 76 を介してアクチュエータ 74 に保持される。このようにアクチュエータを多段構成にしてある。レンズ 72a および 72b は、それぞれアクチュエータ 74 および 76 によって独立に駆動される。レンズ 72a および 72b は、基板 70 面に沿って移動することができる。

【0086】後述するように、例えばレンズ 72a で偏向角の粗調を行い、レンズ 72b で偏向角の微調を行うときには、原理的には図 4 の構成の方が望ましい。しかし、基板上にマイクロマシン作製技術でアクチュエータを構成するときには、多段のアクチュエータを構成することは困難であるため、図 3 に示す構成の方が現状は作りやすい。ただし、図 4 の構成であっても、例えばレンズ 72a および 72b をカメラなどで用いられる超音波駆動モータ系とマイクロレンズとで構成するなどすれば、実現可能である。

【0087】次に、この実施の形態の光スイッチの動作原理につき、図 5～10 を参照して説明する。

【0088】図 5 には、図 1 に示した光偏向素子 18a および 18b にそれぞれ対応するレンズ 80a および 80b が示されている。レンズ 80b の焦点距離を  $f_b$  とする。レンズ 80b に入射する平行光は、レンズ 80b から  $f_b$  の距離だけ離れた焦点 82b の位置に集光する。レンズ 80b にレンズ 80a を組み合わせると焦点の位置は移動する。移動後の焦点 82c は、レンズ 80a および 80b を組み合わせた複合レンズ系と等価な働

きをするレンズの中心 84 から、 $f_c$  の距離だけ離れた位置にある。図 3 に示したように、焦点 82c に光源すなわち光ファイバの端面を置いて使用される。図 5 中、中心線 86 は、焦点 82c および中心 84 を通る線である。レンズ 80a の焦点距離を  $f_a$  とすると、次式

$$(1) \quad 1/f_c = 1/f_a + 1/f_b \quad \cdots (1)$$

の関係がある。

【0089】図 6 には、レンズ 80a が示されている。中心線 86 上に、上述した等価レンズの焦点 82c が示されている。上述したように、通常はこの焦点 82c の位置に光源が置かれる。次に、光源が焦点 82c から中心線 86 に対して垂直な方向に距離  $d$  だけ移動した場合を考える。レンズ 80a と等価レンズの中心 84 とが比較的近い場合、光源の移動後の位置 88 とレンズ 80a との距離は  $f_c$  にほぼ等しい。以下、この距離を記号  $f_c$  で表す。

【0090】光源が焦点 82c の位置にあった場合には中心線 86 に光束の中心がある。しかし、光源を位置 88 へずらすと、光束の中心はレンズ 80a から焦点距離  $f_a$  だけ離れた位置で中心線 86 と交わる線 90 の方向へ屈折する。この場合、線 90 の延長上、レンズ 80a より  $f_c$  だけ離れた位置 92 に仮想的な光源があるのと等価な状態になる。さらに、レンズ 80a による光の集光効果は、光源が焦点 82c の位置にあるときと同等である。つまり、位置 92 に光源があつて、線 90 に垂直にレンズ 80a が置かれた状況と近似的に等しい。線 86 および 90 が交わる角度、すなわち偏向角を  $\theta_a$  とする。このとき次式 (2)

$$\theta_a = \tan^{-1}(d/f_a) \quad \cdots (2)$$

の関係が成立する。

【0091】次に、レンズ 80a および 80b からなる複合レンズ系の動作の説明に戻る。図 7 には、複合レンズ系が中心線 86 上から、中心線 86 に垂直な方向に距離  $D$  だけ移動した状態を示してある。また、図 7 には、レンズ 80a および 80b の移動後のレンズ 80a' および 80b' が示されている。また、図 7 には、複合レンズ系の中心 84 の移動後の中心 84' および中心線 86 の移動後の中心線 86' も示されている。光源が焦点 82c の位置にあるとき、光は焦点 82c と中心 84' とを結ぶ線 94 上を進む。中心線 86 と線 94 とのなす角度、すなわち偏向角  $\theta_0$  は次式 (3)

$$\theta_0 = \tan^{-1}(D/f_c) \quad \cdots (3)$$

で表される。

【0092】次に、図 8 に示すように、レンズ 80a のみが移動する場合、すなわちレンズ 80a がレンズ 80b に対して相対的に移動する場合を考える。レンズ 80a は、中心線 86 上から中心線 86 に垂直な方向に距離  $d$  だけ移動する。図 8 には、レンズ 80a の移動後のレンズ 80a'' が示されている。このときは、図 6 に示し

(図1) 102-214546 (P2002-214546A)

た場合と同様となり、焦点82c(図6の位置88に相当する。)に置かれた光源からの出射光は、線90の方向へ屈折する。したがって、レンズ80bからは、線90に垂直なレンズを介して仮想位置92に光源があるよ

$$dc \sim fc \cdot \tan \theta_a \sim fc \cdot d / fa \quad \dots (4)$$

が得られる。

【0093】また、位置92に置かれた光源からの出射光96は、レンズ80bによって線98の方向に屈折さ

$$\theta = \tan^{-1}(dc / fc) = \tan^{-1}[(d / fa)(\sim fc / fc)] \quad \dots (5)$$

で与えられる。

【0094】次に、別の考え方から上述の(5)式の結果を導く。図9では、レンズ80aが無い(ただし、図9中、レンズ80aがあった位置を記号80aで示す。)。図9の構成は、図5に示したように仮想位置82bに光源があるような場合へと図8の構成を变形したものに相当する。図9中の線90は、レンズ80aが無

$$dc' = dc fb / fc = (\sim fc / fc)(fb / fa)d \quad \dots (6)$$

で表される。

【0095】また、位置92'に置かれた光源からの出射光96は、レンズ80bによって線98の方向に屈折

$$\theta = \tan^{-1}(dc' / fb) = \tan^{-1}[(d / fa)(\sim fc / fc)] \quad \dots (7)$$

したがって、前述の(5)式の結果と同一の結果が得られる。

【0097】以上説明したように、偏向角 $\theta_0$ はレンズ系80aおよび80bの移動距離Dと複合レンズ系の焦点距離fcとの比 $D / fc$ により決まる。また、 $(\sim fc / fc)$ が1に近いと仮定すれば、偏向角 $\theta$ はレンズ80aのレンズ80bに対する相対位置dとレンズ80aの焦点距離faとの比 $d / fa$ により決定される。移動距離Dおよびdは、同等のアクチュエータを用いるので同等の大きさだとする。また、レンズ80bの集光力を大きくして(すなわち焦点距離fbを小さくする。)、レンズ80aの集光力を小さくすれば(すなわち焦点距離faを大きくする。)、 $fb / fa = r < 1$ となる。また、このとき $\theta_0 / \theta$ は $fa / fc$ にはほぼ等しい。 $fa / fc = (r + 1) / r$ であるから $fa / fc > 1$ となる。したがって、 $\theta_0 / \theta > 1$ となるから、偏向角 $\theta_0$ によって偏向角の粗調を行い、偏向角 $\theta$ によって偏向角の微調を行うことができるようになる。位置精度を $\delta$ とすると角度精度は、 $\theta_0$ では $\delta / fc = \theta_0 \delta / D$ となり、 $\theta$ では $\delta / fa = \theta \delta / D$ となるから、最大偏向角に対する割合として同一の値( $\delta / D$ )となる。絶対値では $\theta_0$ と $\theta$ との精度は1 : rとなる。

【0098】また、次のように考えることもできる。図10は、レンズ80aおよび80bの複合レンズ系を1枚のレンズ80cで置き換えた様子を示している。このレンズ80cの焦点距離はfcである。このように置き

うに見える。仮想位置92の本来の光源の位置88からのずれをdcとする。図6を参照して説明した結果を用いると次式(4)

れる。線86および98のなす角度、すなわち偏向角 $\theta$ は、傾いたレンズとレンズ80bとの2枚のレンズ系の焦点距離を考慮して、次式(5)

いときにあたかもこの方向に光源がずれているように光が進むことを示している。レンズ80aが無いときの焦点位置は、図5に示したようにレンズ80bからfbの距離だけ離れた位置92'になる。仮想的な光源は位置92'に置かれるとする。光源の位置92'は、中心線86に対してdc'だけ離れている。距離dc'は次式(6)

される。線86および98のなす角度、すなわち偏向角 $\theta$ は次式(7)で与えられる。

【0096】

換えを行うと、図8および図9の状態はレンズ80cが中心線86からdeの距離だけ移動した場合と等価になる。

【0099】図10に示すように、位置92に置かれた光源からの出射光96は、レンズ80cによって線98の方向に屈折される。線86および98のなす角度、すなわち偏向角 $\theta$ は次式(8)

$$\theta = \tan^{-1}(de / fc) \quad \dots (8)$$

で与えられる。

【0100】(4)および(5)式より、次式(9)

$$de = (\sim fc / fa)d = dc \quad \dots (9)$$

の関係が成立する。

【0101】つまり、実際のレンズ80aの移動距離dよりも $\sim fc / fa = r$ だけ小さくレンズ80cを移動したことで等価になる。よって、偏向角の粗調は複合レンズ系80aおよび80bを同時に動かすことで行え、偏向角の微調はレンズ80aだけを動かすことで行えることが分かる。

【0102】以上説明したように、集光力の小さなレンズ80aと集光力の大きなレンズ80bとで光偏向素子群を構成しているので、偏向角精度はそれぞれのレンズに振り分けられる。レンズ80aでは、数十チャネルであれば数%の精度でも良い。この場合、レンズ80bでは、隣接チャネル間隔の数百ミクロン内で1ミクロンの精度を出すために数分の一%の精度が要求される。このように、従来必要とされた $10^{-4}$ (すなわち $10^{-4} \times 100 = 10^{-2}\%$ )の精度が2つの素子に振り分けられ

(図 2) 102-214546 (P2002-214546A)

る。例えばレンズ 80a の精度を  $10^{-2}$  (二百マイクロン) 程度とすると、レンズ 80b でも  $10^{-2}$  程度の精度で良くなる。よって、簡便なレンズ位置の検出方法によっても全体として必要な精度が得られる。

【0103】以上の議論はレンズ系が 3 枚以上のレンズで構成される場合にも成立する。例えば、レンズ 80a および 80b の複合レンズ系をレンズ 80c で置き換え、このレンズ 80c に新たなレンズを加えた複合レンズ系を考えれば良い。このときは、偏向角の調整精度が 3 枚のレンズに振り分けられる。ここで  $\alpha$  をレンズの個数とすると、レンズ 80c と新たなレンズのそれぞれに要求される位置精度が  $10^{-1}/\alpha$  ( $\alpha=2$ ) 程度にまでさらに緩和される。このように、3 枚以上の可動レンズ系を構成することで効果がさらに向上する。

【0104】なお、この実施の形態では、光偏向素子群として入力側から順に集光力の小さなレンズ、および集光力の大きなレンズを配置したが、これとは逆に入力側から順に集光力の大きなレンズ、および集光力の小さなレンズを配置しても良い。

【0105】[第 2 の実施の形態] 図 11 は、第 2 の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。この光スイッチ 108 は、複数個の光入力ポート 10 を有する入力側スイッチ要素 110 と、複数個の光出力ポート 14 を有する出力側スイッチ要素 112 とを備える。

【0106】上述の入力側スイッチ要素 110 は、光入力ポート 10 の各々に、2 個の光偏向素子 18a および 100a からなる入力側光偏向素子群 114 を備える。これら光偏向素子 18a および 100a は、光入力ポート 10 に入射される光信号の入射方向に沿って配置されている。

【0107】また、上述の出力側スイッチ要素 112 は、光出力ポート 14 の各々に、2 個の光偏向素子 100b および 22b からなる出力側光偏向素子群 116 を備える。これら光偏向素子 100b および 22b は、光出力ポート 14 から出射される光信号の出射方向に沿って配置されている。

【0108】入力側スイッチ要素 110 と出力側スイッチ要素 112 とは、構造的に同じものである。

【0109】この例では、入力側スイッチ要素 110 への光入力手段として、光ファイバ 28 が用いられる。この光ファイバ 28 の出力端面が、上述の光入力ポート 10 に接続される。また、出力側スイッチ要素 112 からの光出力手段として、光ファイバ 30 が用いられる。この光ファイバ 30 の入力端面が、上述の光出力ポート 14 に接続される。

【0110】図 12 は、第 2 の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す断面図である。図 12 には、図 11 に示した入力側スイッチ要素 110 に相当する部分が示されている。出力側スイッチ要素 112 も図 12 に示す入力側スイッチ要素 110 と同じ構成である。

【0111】この実施の形態では、入力側光偏向素子群 114 を構成する一方の光偏向素子 18a は基板 32 (図 11 では図示を省略) 上に設置される。同様に、入力側光偏向素子群 114 を構成する他方の光偏向素子 100a は別の基板 104a 上に設置される。

【0112】また、出力側光偏向素子群 116 を構成する一方の光偏向素子 22b は不図示の基板上に設置される。同様に、出力側光偏向素子群 116 を構成する他方の光偏向素子 100b は別の基板 104b 上に設置される。

【0113】この実施の形態では、上述の光偏向素子 18a および 22b として可動レンズが用いられている。この可動レンズは、光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能なレンズである。また、この実施の形態では、上述の光偏向素子 100a および 100b として可動ミラーが用いられている。

【0114】このように、第 2 の実施の形態の光スイッチの、第 1 の実施の形態の光スイッチとの相違点は、一方の可動レンズの代わりに可動ミラーを備えた点にある。光は、可動レンズ 18a、可動ミラー 100a、可動ミラー 100b、可動レンズ 22b の順に光スイッチ内を通過する。

【0115】図 12 に示すように、可動ミラー 100a は、光ファイバ 28 からの光信号の入射方向に垂直な回転軸 (ヒンジ) 102 を有している。可動ミラー 100a は、基板 104a にヒンジ 102 を介して固定されている。基板 104a 上、可動ミラー 100a と対向する位置に、電極 106a および 106b が設けられている。これらの電極 106a および 106b のいずれかを荷電させると、その静電引力によって、荷電した電極の側に可動ミラー 100a が傾く。したがって、この可動ミラー 100a は、図 1 および図 3 に示した可動レンズ 18b と同等の働きをする。よって、この第 2 の実施の形態の構成にあっても、偏向角の微調と粗調とが可能である。偏向角精度はそれぞれの光偏向素子に振り分けられる。

【0116】なお、図 11 中の光偏向素子 100a および 100b 間の位置にミラー 118 を置いて反射構成とすれば、入力側スイッチ要素 110 のみで入力光の偏向、および偏向後の光の出力が可能になるため、出力側スイッチ要素 112 は省略できる。

【0117】[第 3 の実施の形態] 次に、第 3 の実施の形態では、光スイッチのチャネル数を増大するための構成について説明する。まず、この構成を備えない光スイッチの問題点を明らかにする。

【0118】図 13 に示すように、典型的な光スイッチは、光ファイバ 28 および 30 間に、コリメータレンズ 120 および 122 からなるコリメータ系を有している。可動レンズ型の光偏向素子を用いた装置では、コリメータレンズ 120 および 122 そのものが移動をし



(引3) 102-214546 (P2002-214546A)

て、光束の偏向を行う。可動ミラー型の光偏向素子を用いた装置では、光路中に設けられた可動ミラーによって光束の偏向を行う。ここで、コリメータレンズ120および122間の距離を $L$ とし、各レンズ120および122の焦点距離を $f$ とする。また、コリメータレンズあるいは光束（ビーム）の最大径を $\Phi$ とする。回折の影響を考慮した解析より、

$$L < \pi \Phi^2 / \lambda \quad \dots (10)$$

が必要となる。ここで $\lambda$ は光の波長である。光ファイバ28の入出力角度あるいは回折角を $\theta_d$ とすると

$$\Phi = f \theta_d \quad \dots (11)$$

の関係がある。

【0119】次に、図14を参照して、光偏向素子が可動ミラーである場合について精度計算を行う。図14は、可動ミラー型光スイッチの要部構成を示す図である。図14には、出力側スイッチ要素に相当する部分が示されている。この図には、入力側光偏向素子（不図示）で偏向された光束が、出力側の可動ミラー124で偏向された後に、レンズ122で集光され、光ファイバ30に入力される様子が示されている。図中の可動ミラー124の状態のように正しいミラー角度の場合には、光束126は正しい位置で光ファイバ30に入力される。ミラー124の角度が記号124'で示すように正しい角度からずれると、光は記号126'で示す光束のように焦点位置がずれてしまい光ファイバ30に入らなくなる。ミラー角度のずれによる光束の角度ずれを $d\theta$ とする。焦点位置ずれを $\delta \Delta S$ とおく。すると

$$\delta \Delta S = f d\theta \quad \dots (12)$$

が成立する。この角度ずれ $d\theta$ は、出力側の可動ミラー124の角度ずれのみでなく、入力側の光偏向素子を可動ミラーとした場合にはその入力側可動ミラーの角度ずれによっても生じる。

【0120】図1や図11を参照して説明したように、入力ポートおよび出力ポート間には3次元光配線が形成される。入力側および出力側光偏向素子は、それぞれポートごとに配置される。Nチャンネルの光スイッチの場合、ポートの配列面に平行な面内において、縦および横方向にそれぞれ $N^{1/2}$ 個の光偏向素子が並ぶ。各光偏向素子はクロストーク確保の必要性から $4\Phi$ 以上のピッチで並べる必要がある。したがって、ポートの配列面の一边の大きさは $4\Phi N^{1/2}$ となる。したがって、必要とされる最大傾斜ミラー角 $\theta_m$ は

$$\theta_m = 2\Phi N^{1/2} / L \quad \dots (13)$$

となる。(10)および(13)式から、 $\Phi > 2\lambda N^{1/2} / (\pi \theta_m) \quad \dots (14)$ を得る。

【0121】ミラー角度精度を%で表すために $\epsilon = \delta\theta / \theta_m$ を定義する。すると、(11)、(12)、(14)式より、

$$N < \{\pi \theta_d \delta \Delta S / (2\epsilon \lambda)\}^2 \quad \dots (15)$$

を得る。 $\delta \Delta S$ を必要なロス以内に抑えるための焦点位置ずれの最低値とすると、

$$N = \{\pi \theta_d \delta \Delta S / (2\epsilon \lambda)\}^2 \quad \dots (16)$$

と表せる。(16)式の結果は、誤差精度 $\epsilon$ を良く（小さく）する以外に、光ファイバの回折角 $\theta_d$ を大きくすることによっても、チャンネル数 $N$ を増大できることを示している。あるいは、 $\delta \Delta S$ を大きくすることによってもチャンネル数 $N$ を増大することができる。しかし、単一モード光ファイバの場合には、 $\delta \Delta S$ を大きくするには光ファイバのモード径で大きくすることになり、その場合 $\theta_d$ は小さくなってしまいうため効果が無い。

【0122】チャンネル数 $N$ の計算例を示す。 $\delta \Delta S$ および $\theta_d$ の値を典型的なシングルモード光ファイバの場合の $1\mu\text{m}$ 、 $0.2\text{rad}$ とする。誤差 $\epsilon$ を1%、波長 $\lambda$ を $1.55\mu\text{m}$ とする。このとき $N=100$ となる。

【0123】次に、図15および図16を参照して、光偏向素子が可動レンズである場合について同様の解析を行う。図15および図16は、可動レンズ型光スイッチの要部構成を示す図である。

【0124】図15には、入力側スイッチ要素に相当する部分が示されている。この図には、入力側光ファイバ28からの出射光が、入力側の可動レンズ128で偏向される様子が示されている。図中、アクチュエータ130aおよび130bは、可動レンズ128を移動させるためのモータである。梁132aおよび132bは、アクチュエータで発生した力をレンズ128に伝えるものである。また、図中の記号aおよびbは、それぞれ可動レンズ128および128'の中心を表す。

【0125】また、図16には、出力側スイッチ要素に相当する部分が示されている。この図には、入力側可動レンズ128で偏向された光が、出力側の可動レンズ138で集光され、光ファイバ30に入力される様子が示されている。図中、アクチュエータ140aおよび140bは、可動レンズ138を移動させるためのモータである。梁142aおよび142bは、アクチュエータで発生した力をレンズ138に伝えるものである。図中には、移動後の可動レンズ138'が示されている。

【0126】光ファイバ28からの光束134は、可動レンズ128でコリメートされる。可動レンズ128を記号128'で示す位置に移動させることに対応して、コリメート後の光束136は光束136'のように偏向される（図15）。出力側ではこの逆過程が行われ、入力側で偏向された光束はレンズ138（138'）を通過後、光ファイバ30に入力される（図16）。

【0127】レンズ移動距離を $\Delta S$ とすると、偏向角 $\theta$ は

$$\theta = \Delta S / f \quad \dots (17)$$

で表される。移動距離 $\Delta S$ の最大値に対して、レンズ128の直径 $\Phi_L$ は光束の径 $\Phi$ をカバーする必要があるので、下式(18)

( 4 ) 0 2 - 2 1 4 5 4 6 ( P 2 0 0 2 - 2 1 4 5 4 6 A )

$$\Phi_L = \gamma (2 \Delta S + \Phi) \quad \dots (18)$$

が成立しなければならない。

【0128】ここで $\gamma$ は $\gamma > 1$ を満たす値のパラメータである。両方のアクチュエータの収納スペースを $2\alpha\Delta S$ で表す。 $\alpha$ は $\alpha > 1$ を満たす値のパラメータである。

$$\theta_m = (\Phi_L + 2\alpha\Delta S) N^{1/2} / L \quad \dots (19)$$

与えられる。(10)、(11)、(18)、(19)式より、

$$\theta_m = N^{1/2} \{ \gamma (2\Delta S + f\theta_d) + 2\alpha\Delta S \} / \{ \pi (f\theta_d)^2 / \lambda \} \quad \dots (20)$$

が得られる。

【0129】一方、最大移動距離を $\Delta S_{MAX}$ とすれば、(17)式より $\Delta S_{MAX} / f = \theta_m$ である。よって、 $f$

$$f = \Delta S_{MAX} N^{1/2} (2\gamma + 2\alpha) / \{ \pi \theta_d \Delta S_{MAX} / \lambda - \gamma N^{1/2} \} \quad \dots (21)$$

(21)式と(10)式とより $L$ の値が求まる。出力側

$$L = (\pi / \lambda) (\delta \Delta S_m / \epsilon) N^{1/2} (2\gamma + 2\alpha) / \{ \pi \theta_d (\delta \Delta S_m / \epsilon) / \lambda - \gamma N^{1/2} \} \quad \dots (22)$$

を得る。チャネル数 $N$ が増加すると $L$ は増加する傾向がある。やはり、可動ミラーの場合と同様に $\theta_d$ が大きいほど $L$ が短くなり実現性が高まる。

【0131】計算例を示す。 $\alpha = 1$ 、 $\gamma = 1$ として、他のパラメータを可動ミラーの場合と同一にすると、 $N = 529$ 、 $L = 28$  (cm)を得る。

【0132】以上説明したように、チャネル数 $N$ を増大するためには $L$ を長く取らなければならない。 $L$ を長くするにはビーム径 $\Phi$ を大きくする必要がある。しかし、 $\Phi$ を大きくするに当たり、光ファイバの回折角 $\theta_d$ が小さいと焦点距離が長くなるため、角度誤差による焦点位置ずれが大きくなる。

【0133】[第3の実施の形態]次に、以上の点を踏まえて、第3の実施の形態の光スイッチにつき説明する。この実施の形態の光スイッチでは、チャネル数を増大するために、光ファイバの回折角 $\theta_d$ を拡大する光学系が組み込まれている。

【0134】第3の実施の形態の光スイッチの基本的な構成は、図13に示した装置と同様である。すなわち、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバと、これら光ファイバ間に挿入されたコリメータ系とが備えられる。また、入力側および出力側のそれぞれに可動レンズまたは可動ミラーで構成された光偏向素子が備えられる。

【0135】図17は、第3の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。図17には、入力側のコリメータレンズ120と、入力側の光ファイバ144とが示されている。図17には、光偏向素子の図示が省略されているが、上述したようにコリメータレンズ120そのものを可動レンズとして用いることもある。また、光ファイバ144の端面が光入力ポートとして用いられる。出力側の構成も図17の構成と同様である。

【0136】そして、この実施の形態の光スイッチで

よって、光偏向素子のサイズは $\Phi_L + 2\alpha\Delta S$ となる。したがって、ポートの配列面の一辺の大きさは $(\Phi_L + 2\alpha\Delta S) N^{1/2}$ となる。したがって、必要とされる最大偏向角 $\theta_m$ は

の値は次式(21)で与えられる。

【0130】

で誤差を%で表し、 $\delta \Delta S_m / \Delta S_{MAX} = \epsilon$ とすると

は、光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの光入出力角を拡大するための光学系が備えられる。図17には、入力側の光ファイバ144の光入力ポートに備えられたこの光学系146が示されている。

【0137】光学系146は、光ファイバ144の端部に形成されている。この光ファイバ144の端部は、端面144aに向かって広がるテーパ構造のコア148と、コア148を被覆するクラッド150とで構成される。そして、端面(出射面)144aは凹面形状、この例では円錐形状としてある。

【0138】上述した光ファイバ144の端部では、光ファイバ内において導波光は平面波になっている。この平面波を反射あるいは屈折現象を用いて所望の角で発散していく光に変換する。出射面144aが円錐状反射面であれば光は同心円状の光束として伝搬し、コリメータレンズ120通過後はいわゆるベッセルビーム的に伝搬してゆく。出射面144aが円錐状の屈折面であっても同様であるが、この面での全反射角度の制限から光ファイバ144における回折角 $\theta_d$ は $48^\circ$ が限界である。それでも通常の構成に比して4倍の改善がなされる。

【0139】出射面144aは、円錐面以外にも例えば凹レンズ形状にしても良い。

【0140】コア148のテーパ構造は必ずしも必要ではないが、このような構造は焦点位置のずれに対する許容度を増大させる。他に例えばMMI (multi-mode interference) カプラ構造を採用しても良い。

【0141】次に、この実施の形態の光スイッチの動作につき説明する。例えば上述したコリメータレンズ120を可動レンズとした場合、出力側のどのコリメータレンズへ光を送り込むかの情報に基づきレンズ120が駆動される。その結果、チャネル間の切り替えが行われ



( 5 ) 102-214546 ( P 2002-214546 A )

る。また、光が送り込まれた出力側のコリメータレンズ（可動レンズ）の微小な角度調整によって、出力側光ファイバに最大光量で光が入力されるようにする。必要な切り替え角度は、出力側のレンズピッチ、レンズ数、入出力光偏向素子間距離で決定される。この角度は、可動ミラー型の場合には $\theta_d$ に無関係に設定できる。一方、可動レンズ型の場合には $f$ が短いほど偏向角が大きくなり、 $L$ が縮小する。

【0142】図17に示す構成では、回折角 $\theta_d$ を大きくとることにより、必要な光束幅を確保しつつレンズ120とレンズ焦点面との距離 $f$ を縮めることが可能となっている。これにより、角度変化 $d\theta$ に対する焦点位置変化 $f d\theta$ が低減される。

【0143】以上説明した光スイッチによれば、回折角度を $n$ 倍することで、同一の精度で実現可能なチャネル数 $N$ を $n^2$ 倍にすることが可能である。すなわち、チャネル数が $N$ であれば従来に比べて必要な精度は $n$ 倍緩和される。

【0144】なお、例えば出射面144aを上述の形状とする代わりに凹レンズを用いることもできるが、その場合は、レンズ前の角度変化が拡大されてしまう問題を解決する必要がある。すなわち位置変化減少によるロス減少と、入力角変化増大によるロス増大のトレードオフが問題となる。上述した形状の出射面144aを採用すればこの問題は無い。

【0145】図17に示した構成の他にも、例えば図18に示す光学系を用いることも回折角の拡大に有効である。図18は、第3の実施の形態の光スイッチの変形例の要部構成を示す図である。図18には、出力側のコリメータレンズ122と、出力側の光ファイバ154とが示されている。光ファイバ154の端面が光出力ポートとして用いられる。入力側の構成も図18の構成と同様である。

【0146】図18に示す光学系152は、出力側の光ファイバ154の端面に形成された凸レンズ形状の光が入射する面154aである。この系では先球部（光が入射する面）154aを凸レンズとして用い、この凸レンズの焦点156をコリメータレンズ122との共焦点にしている。この凸レンズの焦点距離が十分に小さければ回折角を大きくすることができる。その結果、コリメータレンズ122に入射する光は、その角度誤差が拡大された状態で光ファイバ154に入力されるようになる。凸レンズとコリメータレンズ122との焦点比を $r$ にすると倍率は $r$ 倍である。 $r$ は必要な光束（ビーム）径 $\Phi$ と光ファイバのモード径との比に一致する。光ファイバ154への入力許容角度は $0.5\text{ dB}$ で1.5倍程度である。光ファイバ154のコア148は、この許容角度を保ったまま $r$ の比をあまり大きくしないようにするために、テーパ構造にしてある。

【0147】〔第4の実施の形態〕第3の実施の形態で

は、回折角 $\theta_d$ を増大するための光学系を示したが、その代わりにビーム径 $\Phi$ を増大する光学系を用いても良い。

【0148】第4の実施の形態の光スイッチの基本的な構成は、図13に示した装置と同様である。すなわち、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバと、これら光ファイバ間に挿入されたコリメータ系とが備えられる。また、入力側および出力側のそれぞれに可動レンズまたは可動ミラーで構成された光偏向素子が備えられる。

【0149】図19は、第4の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。図19には、出力側のコリメータレンズ158と、出力側の光ファイバ160とが示されている。光ファイバ160の端面は上述した光出力ポートとして用いられる。入力側の構成も図19の構成と同様である。なお、図19では、光偏向素子の図示が省略されている。また、図19では、光ファイバ160のクラッドの図示が省略されている。

【0150】さらに、この実施の形態の光スイッチでは、光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ光のビーム径を拡大するための光学系を備えている。図19には、出力側の光ファイバ160の光出力ポートに備えられたこの光学系162が示されている。

【0151】具体的に光学系162は、 $m^2 \times 1$ カブラ164（ $m$ は整数）とコリメータレンズ158とで構成される。 $m^2 \times 1$ カブラ164は、光ファイバ160の端部に結合された幅広の導波部である。また、コリメータレンズ158は、カブラ164の端面に対向して設けられ、このカブラ164の端面に平行な面内に配置された複数個の小レンズ158aで構成されている。

【0152】この構成によれば、小レンズ158aの各々で分担して集光が行われ、集光された光の各々がカブラ164で合流された後に光ファイバ160に入力される。よって、同一の光束径、焦点距離であっても必要な回折角の大きさは $m$ 分の1（ $\Phi_L/\Phi$ ）とすることができ

る。【0153】なお、小レンズ158aが有限個の場合、よく知られているように副光束の存在が問題となる。入出力とも図19の構成とするときには目的としない入力光（副光束）を受けないように、入出力光偏向素子間の距離、ピッチ（すなわち光偏向素子間の角度）を設定する必要がある。

【0154】なお、この実施の形態では、小レンズ158aを光束発生、コリメート用素子として用いているが、同様の機能を有する他の素子、例えば回折格子、球面ミラーなどであっても良い。

【0155】以上説明した光スイッチによれば、回折角度を $n$ 倍することで同一の精度で実現可能なチャネル数 $N$ を $n^2$ 倍にすることが可能である。すなわち、チャネル数が $N$ であれば従来に比べて必要な精度は $n$ 倍緩和さ

( 図 6 ) ) 0 2 - 2 1 4 5 4 6 ( P 2 0 0 2 - 2 1 4 5 4 6 A )

れる。

【0156】〔第5の実施の形態〕図20は、第5の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。この光スイッチは、複数個の光入力ポート10と、複数個の光出力ポート14とを有している。また、光入力ポート10の各々に、光信号の入射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラー166が入力側光偏向素子として備えられる。また、光出力ポート14の各々に、光信号の出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラー168が出力側光偏向素子として備えられる。さらに、入力側および出力側光偏向素子間に、入力側の可動ミラー166で反射された光を出力側の可動ミラー168上に集光するための光学素子170が設けられている。

【0157】また、この例では、光入力ポート10への光入力手段として、光ファイバ28が用いられる。この光ファイバ28の出力端面が、上述の光入力ポート10に接続されている。また、光出力ポート14からの光出力手段として、光ファイバ30が用いられる。この光ファイバ30の入力端面が、上述の光出力ポート14に接続されている。

【0158】また、この例では、光入力ポート10の数に応じた個数の可動ミラー166が基板172上に設置されている。同様に、光出力ポート14の数に応じた個数の可動ミラー168が基板174上に設置されている。これら可動ミラーの構成は、図11を参照して説明した可動ミラーの構成と実質的に同じである。

【0159】また、この例では、光入力ポート10および可動ミラー166間に、光入力ポート10ごとにコリメータレンズ176が設けられている。同様に、光出力ポート14および可動ミラー168間に、光出力ポート14ごとにコリメータレンズ178が設けられている。これらコリメータレンズを可動レンズとしても良い。この例では、これらコリメータレンズを、設計により任意方向に集光可能な回折格子素子により構成している。

【0160】上述の光学素子170は、複数個のレンズが一平面内に配列された構造のコリメート用素子である。可動ミラー166および168が光学素子170を介して直線状の光路で結ばれているときには、上述した可動ミラー166、168のピッチが、光学素子170を構成するレンズのピッチの2倍になるように、これらレンズは配列される。光学素子170を構成するレンズの直径は、コリメート長に応じたものが必要でありこれは(10)式で与えられる。

【0161】また図20において、各部を結ぶ点線及び一点鎖線は、各部におけるこの光の経路を概略的に示したものである。

【0162】光学素子170を構成するリレーレンズが一つ置きに、166、168の個々の可動ミラーと対向するように、配置される。これにより、166と168を結ぶすべての経路が光学素子170を通過する。

【0163】光学素子170を構成する各々のリレーレンズの直径は、回折を抑えるためにある程度以上の大きさが必要となる。この直径は、文献1に開示された技術による光スイッチにおいて、コリメート系の最もビーム径の大きい部分に、可動ミラーを設けた系でのミラー直径と同一の値とする。具体的には、200〜300 $\mu$ m程度である。

【0164】なお、図20において、レンズ176、178、170は、可動ミラー166、168と同様に、基板上に形成することが可能である。そして、可動ミラー166、168と光学素子170との間に凸レンズを挿入すれば、光学素子170を構成するレンズのピッチを低減することができる。

【0165】光入力ポート10とコリメータレンズ176との距離、および光出力ポート14とコリメータレンズ178との距離は、後述するようにレンズ176と可動ミラー166との距離、およびレンズ178と可動ミラー168との距離よりも著しく近くすると可動ミラー166、168の制御誤差が低減される。

【0166】この構成によれば、ファイバ28からの光は、レンズ176によって集光され、ミラー166にむかって、偏向(固定角度)される。そして、入力側可動ミラー166によって、光は所望の出力側可動ミラー168の方向に偏向される。途中、入力側可動ミラー166で反射された光は、光学素子170によって集光される。出力側可動ミラー168によって、光は所望のコリメータレンズ178の方向に偏向される。コリメータレンズ178で集光された光は、レンズ178に対応する光出力ポート14に接続された光ファイバ30に入力される。

【0167】このように、レンズ170より後側の出力側は、ミラー168、レンズ178、ファイバ30によって、入力側光スイッチ要素の動作の順序とは逆の順序で動作が行われる。このため、レンズ176、178は、集光と偏向が可能なホログラムタイプであることが望ましい。

【0168】このようにすれば、光ファイバ28、30の入力または出力端の配置をレンズ176、178、170と平行にすることができるため、すべての光ファイバ28、30からの光をミラー166または、168上でコリメート光の最小径とする(集光する)ことが可能となる。

【0169】レンズ176もしくは178によって集光され、偏向された光束の、可動ミラー166もしくは、光ファイバ30上における中心位置は、偏向角がずれても集光位置の変動は殆ど無い。光ファイバへの入力角度変動はあるが、これは集光の位置の変動よりも影響が小さいためにロス変動は小さく抑えられる。

【0170】次に、図21および図22を参照して、誤差の光線行列による解析を行う。図21(A)には、図

(註 7) 102-214546 (P2002-214546A)

20に示した光スイッチのうちの可動ミラー166、光学素子170および可動ミラー168の部分が示されている。図21(B)および図22には、図20に示した光スイッチのうちの可動ミラー168、コリメータレンズ178および光ファイバ30の部分が示されている。

【0171】光線行列による解析では、光線位置および光線角度を成分とするベクトル(光線位置、光線角度)が用いられる。また、ある光学系を通った光線がどう変化するかを記述する $2 \times 2$ 行列(M)が光線行列として用いられる。行列(M)の、第1行第1列成分、第1行第2列成分、第2行第1列成分および第2行第2列成分をそれぞれ $m_{11}$ 、 $m_{12}$ 、 $m_{21}$ 、 $m_{22}$ と表す。

【0172】図21(A)の場合、可動ミラー166と光学素子(レンズ)170との間の光線行列は下式(23a)～(23d)で表される。

【0173】

$$m_{11} = 1 - L / (2f) \quad \dots (23a)$$

$$m_{12} = L - L^2 / (4f) \quad \dots (23b)$$

$$m_{21} = -1 / f \quad \dots (23c)$$

$$m_{22} = 1 - L / (2f) \quad \dots (23d)$$

ここで、 $f$ はレンズ170の焦点距離である。また、ミラー166とレンズ170との距離、およびレンズ170とミラー168との間の距離は共に $L/2$ である。 $L/2 = 2f$ の場合には、光線行列は下式(24a)～(24d)で表される。

$$【0174】 m_{11} = -1 \quad \dots (24a)$$

$$m_{12} = 0 \quad \dots (24b)$$

$$m_{21} = -4 / L \quad \dots (24c)$$

$$m_{22} = -1 \quad \dots (24d)$$

よって、ミラー166の角度によってミラー168上での位置ずれが生じることが無くなる。ミラー166の角度によって、ミラー168上での焦点位置ずれから生じる角度ずれを無くすることもできる。

【0175】光ファイバ30への光の入力角度を $\theta_e$ とし、光ファイバ30の入力端面における光束の位置ずれを $\delta$ とし、ミラー168の角度を $\theta_{cnt}$ とすると

$$\theta_e = -4\delta / L - \theta_{cnt} \quad \dots (25)$$

が成り立つ。

【0176】図21(B)の場合、ミラー168と光ファイバ30との間の光線行列は下式(26a)～(26d)で表される。

【0177】

$$m_{11} = 1 - d / f \quad \dots (26a)$$

$$m_{12} = d_1 + d - d_1 d / f \quad \dots (26b)$$

$$m_{21} = -1 / f \quad \dots (26c)$$

$$m_{22} = 1 - d_1 / f \quad \dots (26d)$$

ここで、 $d_1$ はミラー168とレンズ178との間の距離を表し、 $d$ はレンズ178と光ファイバ30の入力端面との間の距離を表している。 $1/d + 1/d_1 = 1/f$ の場合、 $m_{12} = 0$ となり、ミラー168の角度によ

って光ファイバ30での焦点位置が変化することが無くなる。このとき、光線行列は下式(27a)～(27d)で表される。

$$【0178】 m_{11} = -d / d_1 \quad \dots (27a)$$

$$m_{12} = 0 \quad \dots (27b)$$

$$m_{21} = -1 / f \quad \dots (27c)$$

$$m_{22} = -d_1 / d \quad \dots (27d)$$

$d/d_1$ を小さくすることによって、図22に示したような光束の位置ずれ $\delta$ による像の位置ずれ $x_e = d/d_1 \delta$ を小さくすることが可能である。また、光ファイバ30に入力する光の入力角度 $\theta_e$ は

$$\theta_e = -\delta / f - \theta_{cnt} d_1 / d \quad \dots (28)$$

で表される。

【0179】角度 $\theta_e$ もミラー168の角度 $\theta_{cnt}$ を調整することによって実質的に0度にする事が可能である。

【0180】一般的に光ファイバ30の入力許容角度は1.5度程度あり、マイクロマシンミラーの可能偏向角(6～10度)に比べて大きい。そのため、焦点位置 $\delta$ の許容誤差(1 $\mu$ m)よりも条件がゆるいと考えられる。また、 $\delta$ に対して $f$ と $L$ が充分大きければ $\theta_e$ は無視できるほど小さくなる。

【0181】レンズ176、178を半固定の可動型とすることにより、組み立て時に光ファイバ28、30の位置がずれていても、ミラー166、168での光束のスポット位置を中心にもってくることが可能である。レンズ176、178は位置合わせ終了後は動かさず、光路の切り替えはミラー166、168により行う。あるいは $m_{12} = d_1 + d - d_1 d / f = de$ を微量とすることによって、ミラー166、168の粗い角度制御でわずかな焦点位置変化を得ることが可能になる。よって、組み立て精度の調整が可能となる。

【0182】以上説明したように、この実施の形態の光スイッチによれば、光学素子170を構成するレンズのいずれかを選択するようなミラー166、168の大きな角度変化で光路切り替えがなされる。レンズ170に当てられていさえすれば光束の厳密な位置は問題とならないため、ミラー166、168の角度制御精度が緩和される。このため、ミラー切り替えを高速で行うことが可能となる。

【0183】また、図23には、第5の実施の形態の光スイッチの第1変形例が示されている。図20に示した光スイッチでは、レンズ170のピッチがミラー166、168のピッチの2分の1であったが、図23にはこれらのピッチが概略等しい例が示されている。そのために、ミラー166、168に対応するミラー182、184のピッチが図23の例では図20の例に比べて小さくなっている。また、光学素子170の代わりに、ホログラムのような偏向機能と集光機能とを合わせ持つ光学素子(レンズ)180が用いられている。この例で

(引 8) 102-214546 (P 2002-214546A)

は、光学素子180を構成するレンズが、入力側光偏向素子(可動ミラー182)および出力側光偏向素子(可動ミラー184)間における光経路に対応して個別に設けられる。

【0184】図23中の光路186に注目する。図20ではこの光路に対応する光路を伝搬する光が、ミラー166で反射された後、最も左側のレンズ170に入っている。しかし、図23の光路188aのように、光路186を進む光がミラー182で反射された後に、ここでは中央より一つ左のレンズ180に入るようにする。また、光路186を進む光のうち、ミラー182で反射された後に最も左のレンズ180に入る光路188bを進む光は、集光と偏向を受け、図20の場合と同じく最も左のミラー184に入るようにする。ミラー182、184の動作で角度を図中の左右(188a側および188b側)に振れるようになるため、チャネル数が倍になる。また、ミラー182を搭載した基板172と、ミラー184を搭載した基板174とを小型化できる。

【0185】また、図24には、第5の実施の形態の光スイッチの第2変形例が示されている。図24に示した光スイッチでは、表面に反射面を有した光学素子190が図20の光学素子170の代わりに設けられる。その結果、入出力ポートの共通化が図れる。したがって、出力側の可動ミラー168、コリメータレンズ178、光ファイバ30などは不要である。

【0186】次に、第6以降の実施の形態を説明するが、これらの実施例の目的を説明するために、この発明の第1～第5の実施の形態における改良すべき点を述べる。そのため、上述した各実施の形態の構成において、光偏向素子を基板上に配置した場合、基板の周縁側にある素子に注目する。

【0187】例えば図1の光スイッチにおいて、入力側光スイッチ要素12を構成する光偏向素子群20のうちで、基板の上部の縁に近い位置にある光偏向素子18bが、出力側基板のポート14を選択する場合を考える。ここでは、新たに図1と同様の図26を参照して説明する。

【0188】このとき水平方向X以下の偏向角、すなわち例えば図26中における水平方向(X方向)に対し、下向き方向(Y方向)の光束の偏向角 $\theta_x$ で光束を偏向する必要があり、水平方向X以上、即ち例えば図26中における、水平方向(X方向)に対し、上向き方向(Y方向)の光束の偏向角 $\theta_{x'}$ はムダになる。

【0189】一方、基板の中央付近にある偏向素子に注目すると、このような偏向角 $\theta_x$ 、 $\theta_{x'}$ 、すなわち上下方向Yの偏向は可能である。

【0190】出力側スイッチ要素16における、基板の一番上に位置する光偏向素子群24から、基板の一番下に位置する光偏向素子群24までの垂直方向(Y方向)の長さを $L_s$ とし、光偏向素子18bから対向する基板

において同じ位置にある光偏向素子22aまでの水平方向(X方向)の距離をLとする。

【0191】このとき、上述したような基板の周縁側にある光偏向素子においては、必要とする偏向角は $L_s/L$ である。それに対し、基板の中央付近に位置する偏向素子では、上下方向Yの偏向が可能であるため、必要とする偏向角は、 $L_s/(2L)$ となり基板の周縁側にある偏向素子の半分でよい。

【0192】よって、上下方向Yでは、基板の中央付近に位置する一つの素子で可能なチャネル数は、基板の周縁側付近に位置する一つの素子と比べて、2倍のチャネル数となる。

【0193】すなわち、基板の周縁側に位置する一つの偏向素子において可能なチャネル数は、中央付近に位置する一つの素子の4分の1である。

【0194】これは、第1～第5の実施の形態に共通である。すなわち、これらの光スイッチにおいて、光入力側のスイッチ要素を構成する素子は、これに対向する光出力側のスイッチ要素を構成する真向かいの素子から、出力基板の反対側の周縁側にある素子までの角度として、垂直を境にした半分の空間しか使用しない。そのため、素子の取り得る可能な偏向角の半分しか使用していないという改良すべき点があった。第6以降の実施の形態はこの点を鑑みて成されたものである。以下、この第6の実施の形態より順に説明する。

【0195】[第6の実施の形態]図27に、第6の実施の形態の構成例を示す。この光スイッチ2700は、複数個の光入力ポート2702を有する入力側スイッチ要素2704と、複数個の光出力ポート2706を有する出力側スイッチ要素2708とを備えている。この光スイッチ2700において、光入力ポート2702のいずれかに入力された光信号は、光出力ポート2706のいずれかから出力する。

【0196】また、この光スイッチ2700は、入力側スイッチ要素2704と、出力側スイッチ要素2708との間に配設されていて、入力ポート2702からの各光信号が、入射光として入射され、かつ、入射光に対応する出射光を、光線束の中心光路が互いに平行となるように、出射させる光学素子2710が設けられている。

【0197】この光学素子2710が透過型か反射型かによって、入力ポート2702及び出力ポート2706の位置は変化する。光学素子2710として、一枚で構成される凸レンズ、或いはホログラムが用いられることが好ましいが、ここでは、凸レンズを用いた例につき説明する。

【0198】また、この光スイッチ2700において、入力側スイッチ要素2704は、光学素子2710の焦平面に配置されている。ここでは、焦平面とは光学素子2710の焦点を通り、中心軸に直交している面である。よってこの光学素子2710と入力側スイッチ要素

(図9) 102-214546 (P2002-214546A)

2704間の距離は、光学素子2710の焦点距離 $f_{27}$ となる。

【0199】一方、光学素子2710を挟んでその前後の対称の位置に、出力側スイッチ要素2708と入力側スイッチ要素2704とを配置すれば、すべての入力ポート2702から出射した光を、出力側スイッチ要素2708に集めることができる。よって、この光学素子2710と出力側スイッチ要素2708間の距離は、光学素子2710の焦点距離 $f_{27}$ となる。

【0200】ここで、複数の入力ポート2702の各々は、これら入力ポートに対応付けられた入力側レンズ系2712を有している。また、複数の出力ポート2706の各々は、これら出力ポートに対応付けられた出力側レンズ系2714を有している。入力側レンズ系2712から出力側スイッチ要素2708へ光が出射する面 $z_0$ 、及び出力側スイッチ要素2708における入力側レンズ系2712からの光が入射する面 $z_1$ には、それぞれ凹レンズ2716が設置されている。

【0201】図27に示した各部を繋ぐ直線は、各部における光束の形状を概略的に表したものである。この光束の形状を参考にしながら、各部の動作について説明する。

【0202】この光スイッチ2700において、入力側スイッチ要素2704から出た光束（ビーム）は、凸レンズ2710によって集光され、出力側スイッチ要素2708に入射される。ここで、入力側レンズ系2712から出射した光が光信号出射面 $z_0$ 上にある点から発散するような光であると、凸レンズ2710の後で平行光になってしまう。そこで、入力側レンズ系2712の光が出射する面 $z_0$ に、凹レンズ2716を設けてある。

【0203】更に、図27に示したように、この凹レンズ2716に入射する光が平行光であるとする。そして、この平行光は凹レンズ2716を通過後、発散され、凸レンズ2710に入射される。この凸レンズ2710内では光は平行光となっている。

【0204】さらに、出力側レンズ系2714の光が入射する面 $z_1$ に、凹レンズ2716を設ければ、この凹レンズ2716を通過した光の形状は、図27に示したように、光が出射する面 $z_0$ に設けられた凹レンズへの入射光と同一の平行光となっている。

【0205】つぎに、図29に、光学素子として凸レンズ2710のかわりに球面凹面鏡を用いた例を示す。この場合には入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素は共用する。よって、ここでは説明のため、これらを総称して入出力側スイッチ要素2904とする。

【0206】これらスイッチ要素は、凹面鏡2910の焦点面内の位置に設ける。焦点面とは凹面鏡2910の焦点を通り、中心軸に直交している面である。

【0207】尚、光学素子2910から入出力側スイッチ要素2904内の偏向素子までの距離は、光学素子2

910の焦点距離 $f_{29}$ となる。

【0208】ここで、図中直線で示した矢印は、入出力側スイッチ要素2904から出射した光線束の形状、また図中点線で示した矢印は、入出力側スイッチ要素2904へ入射する光線束の中心光路を概略的に示している。

【0209】この実施の形態において、入出力ポート2902から出射した別々の出射角の光束は、凹面鏡2910で反射されて、別々の入出力ポート2902に入射される。この場合、凹面鏡2910で反射された各光線束の中心光路は、互いに平行になっている。

【0210】ところで、図27及び図29に示したような光スイッチにおいて、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素は、互いに構成が同一のものをを用いる。

【0211】ここで、入力側スイッチ要素2704の構成を代表して、図28に示す。

【0212】このレンズ系は、固定レンズ2800と、可動ミラー2802とから構成される。

【0213】尚、2800を可動レンズで構成する場合があっても良い。この場合、可動レンズは、入力側スイッチ要素2704においては、光ファイバに対する光信号の入射方向に垂直な面内で、そして、出力側スイッチ要素2708においては、出射方向に垂直な面内で移動が可能なものである。すなわち、この構成例では、可動レンズを用いたとき、この可動レンズは、基板2806の基板面と平行となるように設けられていて、基板面と平行な方向に移動可能としてある。

【0214】一方、可動ミラー2802は、入力側スイッチ要素2704においては光信号の入射光線の中心光路を、出力側スイッチ要素2708のいずれか一つの可動ミラー2802に向けて、反射させるように回転制御される。また、出力側スイッチ要素2708においては、光信号の反射光線の中心光路を入力側スイッチ要素2704のいずれか一つの可動ミラー2802に向けて反射させるように、回転制御される構成となっている。

【0215】また、図27の光入力ポート2702への光入力手段として、図28の光ファイバ2804が用いられる。この光ファイバ2804の出力端面が、図27において光入力ポート2702に接続されている。

【0216】図28(A)に、この実施の形態において用いる入力側スイッチ要素2704の第1の形態2704aを示す。

【0217】この入力側スイッチ要素2704aに設けられたレンズ系は、固定レンズ2800と、基板2806上に複数設けられた可動ミラー2802と、これら可動ミラー2802の各々に対応付けて設けられた凹レンズ2716とで構成されている。この構成は、凹レンズ2716を入力側レンズ系の光が出射する面 $z_0$ に設けたものに対応している。

【0218】ここで、可動ミラー2802は、基板28

(20) 102-214546 (P2002-214546A)

06に図示のように集積化されている必要はなく、ひとつひとつ個別に分離して設けられていてもよい。その場合はそれぞれのレンズ系2712(図27参照)も一組ずつ個別に設けられることとなる。

【0219】この図28(A)において、各構成要素間をつなぐ直線は、各部における光の形状を概略的に示したものである。よって、この光の形状を参考にしながら、これより各部の動作について説明する。

【0220】この入力側のレンズ系において、光ファイバ2804からの光は、固定レンズ2800によって集光され、凹レンズ2716の可動ミラー2802側の焦点に向かって偏向(固定角度)される。よって、固定レンズ2800は集光と偏向が可能なホログラムタイプであることが望ましい。

【0221】凹レンズ2716を通過した光は平行光となる。この平行光は可動ミラー2802で反射され、所望の偏向角を有した平行光になる。この平行光は、凹レンズ2716によって発散する光となり、後段の光学素子2710(図27参照)へ入射される。

【0222】つぎに、図28(B)に、この実施の形態において用いる入力側スイッチ要素2704の第2の形態2704bを示す。

【0223】この入力側スイッチ要素に設けられたレンズ系は、図28(A)に示したものと構成がほぼ同様である。よって、構成及び図の各部についての重複する記載は省略する。

【0224】このレンズ系では、凹レンズ2716のほかに固定レンズ2800と可動ミラー2802との間に、1枚構成の第2の凹レンズ2808を設けてある。このようにすると、第2の凹レンズ2808によって、光ファイバ2804からの光束列の間隔を狭めることが可能となるため、可動ミラー2802の配置を高密度化して集積規模を上げることが可能となる。

【0225】なお、第6の実施の形態において用いられるレンズ系は、図28(A)及び(B)に示す構成に限定されない。これらレンズ系の光が入射する面 $z_1$ 、及び光が出射する面 $z_0$ に凹レンズを設ける構成であるならば、例えば先に説明した、図3における可動レンズを用いた構成であってもよい。その場合、これらレンズ系の光が入射する面及び光が出射する面に設けられる凹レンズを二枚目の可動レンズとするのが好ましい。

【0226】次に、図30に光学素子としてホログラム3010を用いた例を示す。この光スイッチ3000の基本的な構成は、図27に示した構成と同様である。よって、図30中において、構成及び図の各部についての重複する説明は省略する。

【0227】なお、光スイッチ3000において、各入力側レンズ系3012、及び各出力側レンズ系3014とも構成は同一である。よって、図30においては、入力側レンズ系3012を代表して、符号を付して構成要素を示した。

【0228】この光スイッチ3000において、入力側および出力側におけるレンズ系3012、3014に設けられた図示の各可動ミラー2802に対して、入出力する光束の中心光路が、同一面(ここでは図示の紙面)内にくる。よって、入力側および出力側におけるレンズ系3012、3014に設けられた各可動ミラー2802は、一板の基板に集積化できる。また、固定レンズ2800と光学素子3010とに対して、入出力する光束の中心光路が、同一平面内に並べられるため、固定レンズ2800と光学素子3010をホログラム3010で一体に基板に作製することが可能となる。

【0229】つぎに、図31を参照してこれらのレンズ系を基板の上に集積化する方法の例を示す。

【0230】図31(A)は、基板上に集積されたレンズ系の配置状態を説明するための図である。図31(B)は、このレンズ系の構成要素の配置関係の説明図であり、図31(A)は、図31(B)のA-A'線に沿った断面を、矢印の方向より見た図に相当する。また、この実施の形態においては、入力側及び出力側で同じ構成のスイッチ要素を用いる。よって、ここでは入力側スイッチ要素3100におけるレンズ系に注目して、これについて説明する。

【0231】図31(A)において、凹レンズ2716がホログラム3102a、3102bとともに集積されている基板を基板a3104とする。また、可動ミラー2802が設けられている基板を基板b3106とする。そして、基板a3104、基板b3106の裏面側から表面にまで設けられた光ファイバ2804より光信号は入力する。

【0232】ここで、ホログラム3102a、3102b、凹レンズ2716が設けられた基板a3104は、基板b3106に対して、図31(B)のように配置される。すなわち、マトリクス状に配列された凹レンズ2716に対して、ホログラム3102aは、一部分のホログラムは凹レンズと重なり、残りのホログラム3102bは凹レンズの隙間を埋めるように、やはりマトリクス状に配置される。

【0233】更に可動ミラー2802を設けた基板b3106は、各可動ミラー2802が、基板a3104に設けられたホログラム3102a、3102b及び凹レンズ2716と向かい合うように、基板a3104に対して設置される。この配置により、高密度で凹レンズ2716を並べることができる。

【0234】ここで、図31(A)に示した各構成要素間をつなぐ直線は、各部における光の形状を概略的に表すものである。この光の形状を参考に、各部の動作について説明する。

【0235】光ファイバ2804を出た光信号は、入射光としてホログラム3102bで反射されるとともに平

(21) 02-214546 (P2002-214546A)

行光となり、可動ミラー2802に入射する。そして、可動ミラー2802で反射された光は、基板a3104に設置されているホログラム3102aと、凹レンズ2716を通過する。このとき凹レンズ2716を通過した光は発散すると共に、ホログラム3102aによって、基板a3104に対して垂直方向に出射されることになる。

【0236】次に、図32を参照しながら、第6の実施の形態について行列表現による解析を行う。

【0237】図32は、この実施の形態におけるレンズ系と光学素子とを含む光学系における各部の動作を説明するための図である。

【0238】図32(A)は、この実施の形態における入力側スイッチ要素3204の入力側レンズ系の光が出射する面に設置された凹レンズ2716と、光学素子3210について、これらにおける光線束の形状を各部をつなぐ直線3202、3206、3208で概略的に示したものである。

【0239】また、図32(B)は、入力側スイッチ要素3204の入力側レンズ系に設けられた可動ミラー2802と、その光が出射する面に設置された凹レンズ2716、及び光学素子3210について、これらにおける光線束の中心光路の形状を直線3214a、3214b、3214c、矢印3216a、3216b、321

6c及び3218a、3218b、3218cで、概略的に示したものである。

【0240】また、この第6の実施の形態において、入力側及び出力側スイッチ要素の構成は同一である。

【0241】図32(A)において、レンズ系の光が出射する面に置かれた凹レンズ2716への入射光3202は、平行光である。そして、この平行光3202は凹レンズ2716を通過後発散された光3206となり、光学素子3210に入射する。光学素子3210内部3212の中央では平行光3208となっている。

【0242】図32(B)において、レンズ系に可動ミラー2802を設けたとき、光線束の中心光路3214a、3214b、3214cに対応するそれぞれの光のうち、可動ミラー2802に対して所望の角度に偏向された光を得ることができる。

【0243】ここで、図32(A)において、 $f_{32}$ を凹レンズ2716とその虚焦点までの距離、 $f'_{32}$ を光学素子3210の焦点距離、図32(B)において、 $d_{32}$ を可動ミラーから凹レンズ2716までの距離、 $d'_{32}$ を凹レンズ2716から光学素子3210までの距離とする。

【0244】図32(A)の動作に対応した光線行列を求めると、その行列要素は、

$$\begin{aligned} m_{11} &= 1 + d'_{32}/f_{32} \cdots (29a) \\ m_{12} &= d_{32} + d'_{32} + d'_{32}d_{32}/f_{32} \cdots (29b) \\ m_{21} &= -1/(2f'_{32}) + 1/f_{32} - d'_{32}/(2f'_{32}f_{32}) \cdots (29c) \\ m_{22} &= -d_{32}/(2f'_{32}) + [1 - d'_{32}/2f'_{32}](1 + d_{32}/f_{32}) \cdots (29d) \end{aligned}$$

と表される。

【0245】凹レンズ2716への平行光(入射角=0)3202が、光学素子3210の中心で平行光32

$$-1/(2f'_{32}) + 1/f_{32} - d'_{32}/(2f'_{32}f_{32}) = 0 \cdots (30)$$

一方、図32(B)の動作に対応した光線行列を求める と、

$$\begin{aligned} m_{11} &= 1 + d'_{32}d_{32}/f_{32} \cdots (31a) \\ m_{12} &= d_{32} + d'_{32} + d'_{32}d_{32}/f_{32} \cdots (31b) \\ m_{21} &= -1/f'_{32} + 1/f_{32} - d'_{32}/(f'_{32}f_{32}) \cdots (31c) \\ m_{22} &= -d_{32}/(f'_{32}) + [1 - d'_{32}/f'_{32}](1 + d_{32}/f_{32}) \cdots (31d) \end{aligned}$$

である。

【0247】ここで、図32(A)の凹レンズ2716から平行光3202が出射するとき、凹レンズ2716からそれぞれの偏向角で出射された全ての光線束3206が、光学素子3210を通過後、平行光となるために

$$0 = -d_{32}/(f'_{32}) + [1 - d'_{32}/f'_{32}](1 + d_{32}/f_{32}) \cdots (32)$$

を得る。

【0249】(30)と(32)を同時に満たす条件

08となるためには、 $m_{21}=0$ となる必要がある。

【0246】したがって、

は、凹レンズ2716からの光の出射角が、平行光3202の凹レンズ2716における入射角に無依存であれば良い。

【0248】よって、(31d)式において、 $m_{22}=0$ より、

$$f_{32}/f'_{32} = 1 + d_{32}/f_{32} \cdots (33a)$$



(22) 02-214546 (P2002-214546A)

$d'_{32} = 2f'_{32} - f_{32} \cdots (33b)$   
である。

【0250】設計可能な極限值は、 $d_{32} = 0$ と、 $d'_{32} = 0$ である。このときそれぞれ、 $f_{32} = f'_{32}$ 、 $d'_{32} = f'_{32}$ と $f_{32} = 2f'_{32}$ 、 $d_{32} = f_{32}$ が成立している。

【0251】入力側及び出力側レンズ系を含めた全体の系を考えたとき、 $d'_{32} = 0$ の極限では光学素子3210に対して凹レンズ2716が入出力側から合体し、し

$$m12\theta = [2(f_{32} - f'_{32}) + d'_{32}] \theta = f_{32}\theta \cdots (34)$$

を得る。 $d_{32} = 0$ の極限では、光学素子3210の後での光束中心位置は $m12\theta = d'_{32}\theta$ である。

【0253】次に図33を用いて、光学素子3310より出力側において、凹レンズ2716が配置されている光が入射する面 $z_1$ での光束の様子を調べる。図33も、基本的な図の各部の構成は、図32の構成と同様である。この図33は、光学素子3310を挟んで形成される入力側スイッチ要素3324aと出力側スイッチ要素3324bの、それぞれに設けられた凹レンズ2716について、光学素子3310との関係を示したものである。各部における光線束の中心光路を矢印3320a、3320b、3320c及び3322a、3322

$$m11 = 1 - d_{33}/f'_{32} = f_{32}/f'_{32} - 1 = d_{32}/f_{32} \cdots (35a)$$

$$m12 = d_{33}(2 - d'_{32}/f'_{32}) = d'_{32}(f_{32}/f'_{32}) \cdots (35b)$$

$$m21 = -1/f'_{32} \cdots (35c)$$

$$m22 = 1 - d_{33}/f'_{32} = f_{32}/f'_{32} - 1 \cdots (35d)$$

となる。

【0256】 $d_{32} = 0$ の条件( $f_{32}/f'_{32} = 0$ )では $m11 = 0$ となり、入力ポートの光が出射する面 $z_0$ に設置された凹レンズ2716における偏向角のみで、出力ポートの光が入射する面 $z_1$ での光束の位置が決定する。

【0257】この出力ポートの光が入射する面 $z_1$ での光束の直径 $R$ は、凹レンズ2716の前の平行光3202の光束の直径を $r$ として

$$R = m11r + m12r/f_{32} \cdots (36)$$

である。式(36)を(33a)、(33b)式を用いて計算すると、この直径 $R$ は、 $r$ すなわち等倍の系になっている。

【0258】 $d_{32} \neq 0$ では、入力ポートの光が出射する面 $z_0$ に設けられた凹レンズ2716での出力位置が、可動ミラー2802の偏向角 $\theta$ で異なるため、出力ポートでの光が入射する面 $z_1$ でそれに対応した位置に光束が入射する。

$$\begin{aligned} Y_1 &= m11(X_0 + d_{32}\theta) + m12\theta(1 + d_{32}/f_{32}) \\ &= X_0 d_{32}/f_{32} + \theta d_{32}^2/f_{32} + \theta d_{33}(f_{32}/f'_{32})(1 + d_{32}/f_{32}) \\ &= X_0 d_{32}/f_{32} + \theta f_{32} \cdots (37) \end{aligned}$$

である。最後の等式は(33a)、(33b)式を用い

かも、レンズ機能を互いに打ち消し合う状態となっており、系に何もレンズが入っていない状態と等価となってしまう。

【0252】また、図32(B)において、可動ミラー2802による偏向角を $\theta$ とすると、光学素子3210の後での光束中心位置は、式(31a)～(31d)より $m12\theta$ となる。(33a)、(33b)式を用いて $d'_{32}$ 、 $f'_{32}$ の式に整理すると、

b、3322cで概略的に表わしてある。

【0254】この第6の実施の形態において、光学素子3310と光が出射する面 $z_0$ の距離と、光学素子3310と光が入射する面 $z_1$ の距離は等しく、この距離を $d_{33}$ とする。そして、入力側スイッチ要素の光が出射する面 $z_0$ に設置された凹レンズ2716から、出力側スイッチ要素の光が入射する面 $z_1$ への光線行列を求め

る。

【0255】さらに、図32を参照して求めた今までの光学素子の焦点距離 $f'_{32}$ 、凹レンズの虚焦点までの距離 $f_{32}$ 、凹レンズと光学素子間の距離 $d'_{32}$ の結果を用いて、

【0259】図33に示すように、入力ポートにおいて光が出射する面 $z_0$ に設けられた2つの凹レンズ2716に注目したとき、これら凹レンズ2716の中心間の距離を $X_0$ とする。このとき、入力ポートから出射された光束が、出力ポートの光が入射する面 $z_1$ 上に到達する位置は、 $\theta = 0$ においてこれら凹レンズ2716の中心間距離 $X_0$ に対して、 $m11$ より $X_0 d_{32}/f_{32}$ である。これが図32(B)における、入力ポートの光が出射する面 $z_0$ に設けられた凹レンズ2716における光の出射位置 $d_0\theta$ と一致する必要がある。

【0260】したがって、 $X_0$ にある入力側レンズ系を選択するには出力側で $\theta = X_0/f_{32}$ の角度設定をする必要がある。

【0261】入力側凹レンズ2716を出た直後の光束中心3320a、3320b、3320cは $\theta(1 + d_{32}/f_{32})$ の角度を有している。

【0262】出力ポートにおける光が入射する面 $z_1$ での光束位置は

ている。入出力を入れ替えて考えたとき、前の段落で求



(23) 102-214546 (P2002-214546A)

めた $\theta = X_0 / f_{32}$ との整合がとれている。

【0263】 $X_0$ の最大値 $X_{0m}$ に対する出力ポートにおける光が入射する面 $z_1$ での光束位置 $X_{0m} d_{32} / f_{32}$ に対して凹レンズ2716の半径 $\phi / 2$ が大きい必要がある。 $d_{32} / f_{32}$ は小さい方がよい。

【0264】この第6の実施の形態の光スイッチにおいて、達成可能な回線数を見積もる。ここで、図1に示したこの発明の光スイッチの構成を振り返って、これを用いながら説明を行う。

【0265】この第6の実施の形態は、図27に示したように入力側レンズ系の光が出射する面 $z_0$ には凹レンズ2716が設けられている。

【0266】また、図1に示したような構成のこの発明の光スイッチにおいては、基板32、36、42、46上のサイズは、この凹レンズ2716の数を考慮すればよい。さらに、入力側スイッチ要素、出力側スイッチ要素とも構成の同じものをもちいる。よって、一例として、図1において例えば基板32に注目すると、この基板のサイズは $\phi N^{1/2}$ である。

【0267】ここで、図32(A)、(B)より、凹レンズ2716から出射した光の偏向角は、可動ミラー2802後の偏向角の $1 + d_{32} / f_{32}$ 倍となる。

【0268】したがって、 $d_{32} \neq 0$ では偏向角は保存される。最大偏向角 $\theta_m$ として、最大スキャン幅は $2d'_{32}\theta_m$ となる。したがって最大スキャン幅が図1の基板32、36、42、46のサイズと一致するとして、 $N = (2d'_{32}\theta_m / \phi)^2 \cdots (38)$ となる。

【0269】理想的な光学系では、出力側光スイッチ要素に設けられた光ファイバでの角度ずれによる焦点ずれは、 $\delta S = f \delta \theta$ であるので、 $\delta \theta / \theta_m = \epsilon$ と誤差を表示すれば、

$$N = [2d'_{32} \delta S / (\epsilon f \theta)]^2 \cdots (39)$$

となる。

【0270】 $d'_{32} / (f \theta)$ を充分大きくとることによりいくらかでもチャネル数を増大することが可能である。

【0271】例えば、 $\delta S = 1 \mu\text{m}$ 、 $\epsilon = 0.01$ 、 $f = 0.5 \text{mm}$ 、 $\phi = 80 \mu$ 、 $d_1 = 10 \text{cm}$ とすると、 $N = 64$ 万回線となる。 $\theta_m$ が $0.1 \text{rad}$ に限定されているときには、 $N = 16$ 万回線である。

【0272】[第7の実施の形態]図34に、第7の実施の形態の構成を示す。この実施の形態における光スイッチ3400の基本的な構成は、図27に示した第6の実施の形態で説明した構成と同じである。よって、同様の構成についての重複する説明は省略する。

【0273】この光スイッチ3400においては、光学素子として、好ましくは凸レンズまたはホログラムを用いるのが好ましい。ここでは、光学素子として凸レンズを用いた例を示す。

【0274】この実施の形態の光スイッチ3400において、光学素子としての凸レンズは、入力側スイッチ要素3404及び出力側スイッチ要素3408間の光経路に対応して個別に設けられた第1凸レンズ3410cと、この第1凸レンズ3410cを挟む両側に設けられた2つの第2凸レンズ3410a及び3410bとの組合せで構成してある。これら2つの第2凸レンズ3410a及び3410bの形状及び物性は同一とする。

【0275】また、入力側レンズ系3402及び出力側レンズ系3406は、固定レンズ3412及び3418と、可動ミラー3414及び3416とから構成される。

【0276】尚、3412及び3418を可動レンズで構成する場合があってもよい。この場合、この可動レンズは、入力側レンズ系3402においては、光ファイバに対する光信号の入射方向、そして、出力側レンズ系3406においては、出射方向に垂直な面内で移動が可能なものである。

【0277】一方、可動ミラー3414及び3416は、入力側レンズ系3402においては光信号の入射光線の中心光路、出力側レンズ系3406においては、光信号の反射光線の中心光路を含む面に垂直な方向の回転軸を有する構成となっている。

【0278】図35に、この光スイッチ3400における入力側スイッチ要素3404と、出力側スイッチ要素3408間の光路の設定の仕方を示す。図20に示したような第5の実施の形態において説明した光学素子と可動ミラーとの配置関係とは異なり、入力側可動ミラー3414、及び出力側可動ミラー3416は第1凸レンズ3410cに対して、ひとつおきではなく、第1凸レンズ3410cと同じピッチで基板上に配列されている。第1凸レンズ3410cが順次に接触して連続配列している場合には、これら両可動ミラー3414及び3416もそれぞれ順次に接触して連続配列する。しかし、第1凸レンズの枚数と両可動ミラーの枚数は一致していなくてもよく、これら枚数は設計に応じた任意好適な枚数とすればよい。

【0279】そして、第1凸レンズ3410cと第2凸レンズ3410a及び3410bとの組合せレンズ(合成レンズ)3410の焦点位置、すなわち焦平面に、入力側可動ミラー3414をそれぞれ配置する。図35にこの組合せ凸レンズの焦点距離を $f_{34}$ で示してある。

【0280】図中、各部を結ぶ点線3500a~3500c及び点線3502a~3502c、直線3504a、3506aは、各部における光の形状を概略的に示したものである。すると、この入力側可動ミラー3414のうち、ひとつの可動ミラー3414aに注目すると、この可動ミラー3414aから放射状に偏向された光束3500a~3500cは、第2凸レンズ3410a、3410bの後ろにおいて、平行光束3502a~

(24) 02-214546 (P2002-214546A)

3502cに変換される。

【0281】この入力側可動ミラー3414aからのすべての光束3500a〜3500cが、出力側可動ミラー3416に到達するように配置を行う。すなわち、合成レンズ3410の中心を通り、光軸に直交する軸（レンズの径方向の軸）を対称軸として、合成レンズ3410の前後で対象の位置の光軸に直交する面内に入力側及び出力側可動ミラー3414、3416を配置する。

【0282】ここで、この合成レンズ3410中に、第1凸レンズ3410cを設置しなかったとすると、図34に示す入力側レンズ系3402に設けられた可動ミラー3414を、第2凸レンズだけの合成レンズの焦平面すなわち焦点位置（あるいは光束の最小径位置）に配置すると、1つの可動ミラー例えば3414bから出射した光束は、この第2凸レンズだけの合成レンズを通過した後で、単純に平行光になってしまう。

【0283】さらに、第5の実施の形態で述べたような、入力側可動ミラー3414の角度による出力側可動ミラー3416上での焦点位置ずれ、そしてそれによって生じる角度誤差の低減を図るためには、入力側と同様に出力側可動ミラー3416上で焦点を結ばせる必要がある。

【0284】そのため、光束の偏向方向を決めるための第2凸レンズ3410a、3410bの他に、集光用の第1凸レンズ3410cを設ける。第1凸レンズ3410cは、第2凸レンズ3410a、3410bのような一枚構造であると、その偏向機能を乱してしまう。この結果、第1凸レンズ3410cは設定された光路に対して、一つずつ設けるレンズアレイ構造とする。

【0285】この合成レンズ3410を通過した光を、出力側可動ミラー3416上で焦点を結ばせるためには、第1凸レンズ3410cの焦点距離は、第2凸レンズ3410a、3410bと同一であればよい。第2凸レンズ3410a、3410bと第1凸レンズ3410cを組み合わせる（合成する）と、第2凸レンズ3410a、3410bの焦点距離の二分の一の焦点距離となる。

【0286】そして、入力側可動ミラーのある一つのミラー3414aと、それと対応付けられて基板3422上の同じ位置に配置されている出力側可動ミラー3416aの間の距離が、第1凸レンズ及び第2凸レンズの合成焦点距離の二倍の値に等しくなるように、それぞれの入力側及び出力側可動ミラー3414、3416を配置する。

【0287】よって、以上のような構成の光スイッチにおいて、入力側可動ミラー3414の、一つのミラー3414bに注目したとき、光3504a、3506aで示したように、この可動ミラー3414bから発散する光3504aは、光3506bのように、出力側可動ミラー3416a上に焦点を結ぶように、入力側及び出力

側可動ミラー3414、3416を配置することができる。

【0288】入力側可動ミラー3414では、光を所望の第1凸レンズ3410cに向けて偏向する。光が出力側可動ミラー3416のどの可動ミラーに到達するかは、この入力側可動ミラー3414と、第1凸レンズ3410cとの相対位置により、決定される。従って、どの位置の第1凸レンズ3410cを選ぶかによって、出力ポートが選択される。

【0289】入力側可動ミラー3414に属する一つのミラーと、それと対応付けられて基板3422上に設けられている出力側可動ミラーとの間の距離をLとすると、この距離Lは、第1凸レンズ3410cの直径φと、 $L < \pi \theta^2 / \lambda$ の関係にある。

【0290】ここで、図34に示すような構成の第7の実施の形態は、図20に示すような第5の実施の形態に対して、第2の凸レンズ3410a、3410bを導入する改良を行ったものである。よって、図20に示すような構成の第5の実施の形態の光スイッチとの比較を行う。

【0291】いま、図34に示したような光スイッチ3400において、入力側もしくは出力側可動ミラー3414及び3416を一辺に $N^{1/2}$ だけ並べ、基板3420もしくは3422に平面内でN個マトリックス配列したとする。

【0292】このとき第1凸レンズ3410cは、これら可動ミラー3414もしくは3416に対応して、一辺に $(2N^{1/2} - 1)$ 個だけ並べられる。この第1凸レンズ3410cの間の配列ピッチをAφ（Aは定数）とすると、基板3420及び3422の一辺を、 $s = A\phi N^{1/2}$ とすることができる。

【0293】一方、図20で示すような構成の第5の実施の形態の光スイッチにおいては、基板172及び174の一辺は $s = A\phi (2N^{1/2} - 1)$ になっていた。

【0294】よって、図1もしくは図26に示したような光スイッチの各部の配置にあてはめて考えると、第7の実施の形態の光スイッチにおいては、基板サイズを面積で4分の1とすることができる。

【0295】また、図20で説明したような第5の実施の形態において、入力側可動ミラー166による最大偏向角を片側 $\theta_m$ としたとき、同様に、図1もしくは図26に示したような光スイッチにおける各部の配置にあてはめて考える。

【0296】このとき、マトリックス配列された入力ポートにおいて、周縁側に配置されたポートに設けられた入力側可動ミラー166の偏向角は、 $\theta_m = 2A\phi N^{1/2} / L$ 必要としていた。

【0297】一方、同様の場合について考えると、この第7の実施の形態では、図20に示したような光スイッチにおける入力側可動ミラー166の偏向角の2倍の偏

(25) 102-214546 (P2002-214546A)

向角が使用できるために、 $\theta_m = A \phi N^{1/2} / L$ となる。すなわち、第7の実施の形態では、第5の実施の形態と比較して、 $\theta_m$ は第5の実施の形態の半分でよい。

【0298】したがって、同一の最大偏向角 $\theta_m$ に対して、回線数Nでは、4倍増加させることが可能となる。最大偏向角と $\phi$ 、Nの関連は $N = [(\pi \theta_m \phi) / (\lambda A)]^2$ の関係にある。

【0299】これは、文献1に開示された技術と同様の関係である。すなわち、第5の実施の形態において既に述べたように、この文献1に開示されている光スイッチは、可動ミラーの直径の値を200～300 $\mu$ mに設定している。一方、図23に示したような第5の実施の形態は、光学素子として設けたリレーレンズの直径の値をこれと同一の値としている。これは、第5の実施の形態と類似の構成をもつ、図34に示したような第7の実施の形態における第1凸レンズについても同様である。

【0300】以上のことから、この発明の第5、第7の実施の形態の光スイッチについては、可動ミラー3314もしくは3316の直径を文献1の値よりも小さくすることが可能である点が、文献1に開示された光スイッチの構成と異なっている。

【0301】[第8の実施の形態における従来例] 次に、この発明の第8の実施の形態における従来例を図25(A)に示す。この光スイッチ25010は、従来既知のものであり、光学素子として固定反射鏡2502を用いている。

【0302】これより、この光スイッチ25010について説明することにより、第8の実施の形態における更なる課題を明らかにする。

【0303】この光スイッチ25010は、入力側スイッチ要素と、出力側スイッチ要素を共用した構成となっている。よって、ここでは説明のため、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素を総称して、入出力側スイッチ要素25000とする。また各部をつなぐ点線は、各部における光線束の中心光路を概略的に示したものである。

【0304】図25(A)において、入出力側スイッチ要素25000は、光入出力ポート25040a～25040cの各々に対応する可動ミラー2506a～2506cを基板2508上に設けた構成の光学偏向素子2510a～2510cを備えている。また、コリメータレンズ(固定レンズ)25120a～25120cは、光偏向素子2510a～2510cの各々に対応して、光ファイバ2514a～2514cと可動ミラー2506a～2506cとの間に設置される。すなわち、この構成においては、前述の構成の光偏向素子2510a～2510cとコリメータレンズ(固定レンズ)25120a～25120cとで構成されるレンズ系が、各入出力ポート25040a～25040cに形成されている。

【0305】そして、これらのレンズ系の中間に、すなわち入力側スイッチ要素と、出力側スイッチ要素との間に、光学素子として一枚で構成される固定反射鏡2502が設置されている。

【0306】なお、コリメータレンズ(固定レンズ)25120a～25120cは、可動ミラー2506a～2506cと同様に基板2508上に形成することが可能である。

【0307】ここで、この光スイッチ25010における動作について説明する。

【0308】ある入出力ポート25040a～25040cにおいて、光ファイバ2514a～2514cから出射された光は、コリメータレンズ25120a～25120cにより所望の可動ミラー2506a～2506c上で偏向され集光される。ここで、図25(A)に示すように、光ファイバ2514a～2514cからの光は、コリメータレンズ(固定レンズ)25120a～25120cにより、可動ミラー2506a～2506cへ向かう平行光となる。

【0309】そして、可動ミラー2506a～2506cにて固定反射鏡2502に偏向された後、反射される。ここで、可動ミラー2506a～2506cによる入射角度の調整により、光は特定の光ファイバ2514a～2514cに入射されるように偏向される。すなわち、可動ミラー2506a～2506cを出た光は、固定反射鏡2502により反射され、所望の入出力ポート25040a～25040cに対応した可動ミラー2506a～2506cへ向かう。その後、可動ミラー2506a～2506cで所望の光ファイバ2514a～2514c方向に光は偏向される。続いて可動ミラー2506a～2506cからの光は、コリメータレンズ(固定レンズ)25120a～25120cにより光ファイバ2514a～2514cの端面に集光される。

【0310】複数の光ファイバ2514a～2514cの端面から出射された光は、コリメータレンズ(固定レンズ)25120a～25120cを通して、平行光とされ、可動ミラー2506a～2506c上に向かう。このとき各コリメータレンズ(固定レンズ)25120a～25120cを通過した光束の中心軸は、他の光束の中心軸に対して、互いに平行となる。

【0311】基板2508の光学部品等の取り付け面は平坦面であり、この基板2508上に取り付けられた可動ミラー2506a～2506cのミラー面は、無制御状態で基板2508の表面と平行で且つ互いに同一平面内にある。この状態における可動ミラー2506a～2506cにより反射された各光線束の中心光路は、やはり互いに平行である。

【0312】固定反射鏡2502が、平面鏡(ミラー)であれば、反射された各光の光線束の中心光路も、他の光線束の中心光路に対して互いに平行となる。可動ミラ

(26) 102-214546 (P2002-214546A)

ー2506a~2506cが、前述したように無制御状態であるとき、固定反射鏡2502で反射された各々の光は、固定反射鏡2502に入射されるまでと同じ光路を辿って、再び光ファイバ2514a~2514cに入射される。

【0313】このとき、基板2508の周縁側にある光偏向素子である可動ミラー2506aに対応する入出力ポート25040aに注目する。可動ミラー2506aが無制御状態にあるときは、可動ミラーからの反射光束は固定反射鏡2502に垂直入射する。

【0314】一方、光ファイバ2514aから出射した光を、可動ミラー2506aにおける入射角の調整によって、光ファイバ2514b、2514cに入射させる場合を考える。このとき、可動ミラー2506aの入射角を調整することにより固定反射鏡2502に向かって偏向させた光線束の中心光路を、2514aの光ファイバから出射した光の戻り光の光線束の中心光路に対して、片側に、すなわち光ファイバ2514b、2514c側に寄せる必要がある。

【0315】また、基板2508の中央側にある光入出力ポート25040bについて同様に考える。この場合も、可動ミラー2506bは無制御状態にあるとする。

【0316】このとき、光ファイバ2514bから出射した光を、光ファイバ2514a、または2514cに、可動ミラー2506bを調整することによって入射させるためには、2514bの光ファイバから出射した光線束の中心光路に対して、可動ミラー2506bにおいて反射した光線束の中心光路を、いずれかの両側へ振る必要がある。すなわち、この光スイッチ25010は、同一の出力ポートに出力する際に、偏向素子が基板のどの位置にあるかによって、偏向角が異なるため、駆動が面倒であるという問題点を有している。

【0317】第8の実施の形態は、第6及び第7の実施の形態と同様の目的を有しているが、更に、上述した従来例の問題点を鑑み、光スイッチの駆動を容易とすることを目的として成されたものである。

【0318】[第8の実施の形態] 第8の実施の形態の光スイッチは、マトリックス配列された複数の入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、マトリックス配列された複数の出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備えている。そして、さらに入力ポートの各々は、これら入力ポートのそれぞれに対応付けられた入力側レンズ系を有し、出力ポートの各々は、これら出力ポートのそれぞれに対応付けられた出力側レンズ系を有している。この光スイッチは、入力ポート側から出力ポート側に光信号を出力させる。

【0319】さらに、この第8の実施の形態には、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素との間に光学素子が配設されている。ここでは、光学素子として固定反射鏡を用いた構成例について説明する。

【0320】図25(B)にこの光スイッチ2501の構成を示す。この光スイッチ2501は、第8の実施の形態の従来例で説明した図25(A)に示した光スイッチ25010と構成はほぼ同一である。よって、ここでは同一の構成についての重複する説明は省略する。

【0321】この図25(B)において、各部をつなぐ点線は、図25(A)に示した従来の光スイッチ25010について、各部における光線束の中心光路に対応する光路を概略的に示したものである。これと同様に、各部をつなぐ直線は、第8の実施の形態におけるこの光スイッチの動作を示すための、光線束の中心光路を概略的に示したものである。

【0322】尚、図25(B)には図示はしていないが、この第8の実施の形態の光スイッチ2501における各入出力ポート及び入出力側スイッチ要素は、図25(A)における各入出力ポート25040a~25040c、及び入出力側スイッチ要素25000と同様の構成を示すものである。

【0323】この光スイッチ2501は、固定レンズ2512a~2512cに固定角度の偏向作用を持たせている。例えば、端側の固定レンズ2512aの中心に対して、入出力ポートからの光軸延長線(光ファイバの中心軸の延長線)がポートごとに異なる構成とする。すなわち、入力光線束それぞれの中心軸が固定レンズの中心からずれている構成とする。

【0324】ここで、図25(B)に示したように、この固定レンズ2512aの中心と、光ファイバ2514aからの光線束の中心光路との間の距離gに対して、固定レンズ2512aの焦点距離を $f_{25}$ とすると、固定レンズ2512aによって角度 $g/f_{25}$ だけ光は偏向される。

【0325】そして、可動ミラー2506a~2506cは無制御状態であるとする。この光スイッチ2501において可動ミラー2506a~2506cは基板2508にマトリックス状に配置されている。可動ミラー2506a~2506cが無制御状態のとき、可動ミラー2506a~2506cの反射面は、基板2508の平坦な表面(可動ミラーの固着面)に対して平行になっている。

【0326】光ファイバ2514a~2514cからの光は、固定レンズ2512a~2512cにて偏向され、無制御状態の可動ミラー2506a~2506cで反射され、固定反射鏡2502により反射され、再び可動ミラー2506a~2506cへ向かう。このとき、固定反射鏡2502において反射され可動ミラー2506a~2506cへ向う光束が、基板2508のミラーアレイの中心側に位置する可動ミラー2506bへ向かうように、各固定レンズ2512a~2512cにおける偏向角を調整する。

【0327】一方、中央のポートに設けられた光ファイ

( 27 ) 102-214546 ( P 2002-214546 A )

バ 2514b より出射した光は、中央の固定レンズ 2512b の中心を通り、中央のミラー 2506b へ向けているとする。この場合には、固定レンズ 2512b において光を偏向させる必要はなく、固定反射鏡 2502 からの反射光が中央のミラー 2506b に戻る。

【0328】以上のような構成の光スイッチ 2501 に

$$(2i/N^{1/2})L_s/(2L) = iA\phi/L \cdots (40)$$

である。ここでは、 $\phi$  は可動ミラー 2506 の直径、 $A$  は定数である。

【0329】尚、この光スイッチ 2501 の構成は図 25 (B) に示したように、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素を共用した構成となっている。よって距離  $L$  は、入出力側スイッチ要素 2500 と、固定反射鏡 2502 間の距離となる。

【0330】したがって、光束に対するレンズ位置のずれ量は  $g = iA\phi f_{25}/L$  となり、最大ずれ量は、 $N^{1/2}A\phi f_{25}/(2L)$  である。最大偏向角を  $\theta_m$  とすると、これは  $N^{1/2}A\phi/(2L)$  と表されるので、最大ずれ量は、 $g = f_{25}\theta_m$  である。

【0331】通常、光スイッチにおいて使用されているレンズは、 $\theta_m = 6$  度程度、 $f_{25} = 1$  mm であるので、 $g = 100 \mu\text{m}$  を得る。これは一般的に用いられている値、 $\phi = 300 \mu\text{m}$  より小さく現実的な値といえる。

【0332】このような構成の光スイッチ 2501 においては、入出力ポートからの光は、すべて基板 2508 上にマトリックス配列された可動ミラー 2506a ~ 2506c の、マトリックスの中心側の可動ミラー 2506b に向かっている。よって、マトリックス状に配列された複数の入出力ポートのうち、マトリックスの周縁側のポートに対応した可動ミラー 2506a もしくは 2506c へ偏向する場合には、無制御状態から左右に可動ミラー 2506a もしくは 2506c の偏向角を振ることで行うことができるようになる。

【0333】ここで図 36 (B) には、この第 8 の実施の形態における別の実施例を、図 36 (A) には、第 8 の実施の形態における改良を加える前の構成をもつ光スイッチを示している。

【0334】これら光スイッチの基本的な構成は図 25 (B) に示したものと同様である。よって、同じ構成についての重複する説明は省略する。

【0335】また、第 8 の実施の形態における改良を行う前の光スイッチ 3600a について、図 36 (A) において示した各部をつなぐ点線は、その各部の動作を説明するための、光線束の形状を概略的に示したものである。

【0336】また、同様に、図 36 (B) に示した各部をつなぐ直線 3614a ~ 3614c 及び 3616a、3616b、点線 3618a、3618b は、第 8 の実施の形態におけるこの光スイッチ 3600b の各部の動作を説明するための、光線束の中心光路を概略的に示し

において、可動ミラーを一辺に  $N^{1/2}$  だけ並べ、基板 2508 に平面内で  $N$  個マトリックス配列したとする。そして、図 1 もしくは図 26 に示したような光スイッチの配置を参考にし、これにあてはめて考えると、中央から  $i$  番目のレンズ 2512 に必要な偏向角度は、

たものである。

【0337】この光スイッチ 3600a、3600b において、入力側レンズ系及び出力側レンズ系は、焦点距離の異なる少なくとも 2 枚の可動レンズ 3606a ~ 3606c 及び 3608a ~ 3608c より構成される。

【0338】入力側可動レンズ 3606a ~ 3606c は、光信号の入力方向に垂直な面内で移動可能であり、また出力側可動レンズ 3608a ~ 3608c は、光信号の出力方向に垂直な面内で移動可能である。

【0339】そして、この光スイッチ 3600a、3600b において、入力側スイッチ要素 3602 と、出力側スイッチ要素 3604 とを同じ構成とする。

【0340】ところで、図 36 (A) に示した光スイッチ 3600a において、無制御状態の可動レンズ 3606a 及び 3608b の中心軸は、それと対応して設けられている光ファイバの延長線上にあった。

【0341】ここで、図 36 (A) において、可動レンズ 3606a 及び 3608c は、実線で示したものが無制御状態の可動レンズであることを示す。また、可動レンズ 3606a 及び 3608c は、図 1 で示したようなこの発明の光スイッチにおいて、基板上にマトリックス状に設けられた入力ポートもしくは出力ポートのうち、基板の周縁側に配置されたポート内に位置している。これは、図 36 (B) においても同様である。

【0342】一方、図 36 (B) に示した光スイッチ 3600b においては、入力もしくは出力ポートの位置により、無制御状態での可動レンズ 3606a 及び 3608c の中心軸を光ファイバ 3610a 及び 3612c の延長線上から  $g$  だけずらして設置する、という改良を行っている。

【0343】ずらす量は、図 25 (B) の光スイッチにおいて既に説明したずれ量と同様である。これによって、入力ポートに接続された入力側光ファイバ 3610a の端面から出た光の光束は、各可動レンズ 3606a ~ 3606c 及び 3608a ~ 3608c が無制御状態である場合には、中央側の出力ポートに設置された光ファイバ 3612b へ向かっている。

【0344】一方、このような動作は、出力ポートに接続された出力側光ファイバ 3612c より出射し、この光ファイバ 3612c に対応して設けられた可動レンズ 3608c を通過した光束においても同様である。

【0345】いま、図 36 (B) において、マトリックス配列された入力ポートの周縁側のポートに設けられて

(28) 102-214546 (P2002-214546A)

いる、可動レンズ3606aに注目すると、このレンズ3606aは点線で示したレンズのように、図中矢印k方向に、この場合には、図の上下方向にずらすことができる。よって、この可動レンズ3606aの移動により、光線束3618a、3618bの中心光路を、所望の可動レンズ3608aまたは3608cへと向けることが可能となる。このように、入力側光ファイバ3610aからの光を、可動レンズ3606aを無制御状態の位置から、上下方向にずらすことによって、可動レンズ3606aを通過した光を上下方向に振ることが可能となる。

【0346】つぎに図37は、この第8の実施の形態の、別の構成例を示す図である。この光スイッチ3700の基本的な構成は、第5の実施の形態において説明した構成とほぼ同様である。よって、同じ構成についての重複する説明は省略する。

【0347】また、各部をつなぐ直線3710a~3710c、3718a~3718c、3712b、また、一点鎖線3724a、3724b、3712a、3712cは、この光スイッチ3700の動作を説明するために、各部における光線束の中央光路を概略的に示したものである。

【0348】ここでは、入力及び出力ポート3702a~3702c及び3704a~3704cを、それぞれのポート間を通常よりも離間配置させ、しかもポート毎に、入力側及び出力側レンズ系における固定レンズ3706a~3706c及び3708a~3708cで偏向角が異なるように、配置してある。ここで、レンズ3706a~3706c及び3708a~3708cは、それぞれ可動レンズで構成される場合があってもよい。

【0349】このような構成において、光ファイバ3702a~3702cからそれぞれ出射し、入力側固定レンズ3706a~3706cをそれぞれ通過した光3710a~3710cを、可動ミラー3714a~3714cによって、光3718a~3718cで示すように偏向させる。この場合、この偏向光3718a~3718cを、基板3722の中央側に位置する可動ミラー3716bに向かうように、それぞれの可動ミラー3714a~3714cを制御する。

【0350】また、各入力側レンズ系に設けられた可動ミラー3714a~3714cのうち、基板3720の中心側に位置する可動ミラー3714bによって反射された光は、基板3722上に配置された可動ミラー3716a~3716cのうちのいずれかの可動ミラーに向かう。そして、これらの可動ミラー3716a~3716cによって偏向制御され、光3712a~3712cで示すように、出力ポート3704a~3704cのうちのいずれかのポートへ向かう。

【0351】これにより、この光スイッチ3700においては、どの入力ポート3702a~3702cにおい

ても、光を出射させるときとりうる偏向角の値の範囲が同じとなる。

【0352】また、固定レンズ3706a~3706c、3708a~3708cは、偏向作用を有したホログラムで代替してもよい。

【0353】ここで、これら第8の実施の形態におけるレンズ系の変形例を紹介する。この変形例の構成は、入力側及び出力側レンズ系に一枚の凸レンズを導入したものである。

【0354】第8の実施の形態においては、入力側および出力側スイッチ要素に設けられた固定レンズ（或いは可動レンズ）の中心位置を、光束に対してずらすことで固定偏向作用を実現していた。しかし、この変形例は、凸レンズを用いることで、この作用を実現することができる。

【0355】この凸レンズの設置の様子を、図38に示す。この図において3804a~3804cは各ポートに設けられた光ファイバを示している。そして、これらの各々のポートに可動レンズ3800a~3800cが、それぞれ対応づけて設置されている。尚、これらレンズ3800a~3800cには、固定レンズを用いる場合があってもよい。

【0356】凸レンズ3802は、これらの可動レンズより出射した光束を通過させることができるように、可動レンズ3800a~3800cの後に設置されている。

【0357】ここで、各部をつなぐ直線、及び点線は、各部の動作を説明するために、光束の形状を概略的に示したものである。光線束の中心光路3806は、凸レンズ3802の集光作用によってある中心へと向かう線群となる。その角度は、凸レンズ3802の中心点Oを通る一点鎖線を基準にした各光ファイバの位置をGとして、凸レンズ3802の焦点距離を $F_{38}$ とすれば、 $G/F_{38}$ で表される。

【0358】具体的に、凸レンズ3802はつぎのように設置される。例えば図37における入力側スイッチ要素を参照すれば、この凸レンズ3802は、可動レンズ3706a~3706cと、可動ミラー3714a~3714cとの間に設けられる。この変形例の構成において、可動ミラー3714a~3714cは、凸レンズ3802からの距離が、凸レンズ3802の焦点距離 $F_{38}$ と等しくなるように設置されている。

【0359】図38において、光ファイバ3804aから出た光3808a、3808bは、可動レンズ3800aと凸レンズ3802の両方によって、集光される。ここで、可動レンズ3800a~3800cはすべて物性が等しいものを使用する。よって、これらの可動レンズ3800a~3800cの焦点距離は同一である。この焦点距離を $f_{38}$ とすると、可動レンズ3800a~3800cと凸レンズ3802との合成焦点距離は、 $f_{38}$



( 29 ) 102-214546 ( P2002-214546A )

$F_{38} / (f_{38} + F_{38})$  である。

【0360】可動レンズ3800a～3800cを通過して、その後、さらに凸レンズ3802を通過した光束が、平行光となるためには、可動レンズ3800a～3800cと凸レンズ3802の複合レンズ中心と光ファイバ3804a～3804cの距離をこの合成焦点距離と等しくする。 $F_{38} > f_{38}$ であれば、合成焦点距離は、ほぼ $f_{38}$ に等しくなる。

【0361】[第9の実施の形態]この発明の第9の実施の形態の構成を図39に示す。この光スイッチ3900は、複数個の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備え、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる。

【0362】入力側スイッチ要素は、第1及び第2光ユニット3902、3904を備え、出力側スイッチ要素は、第3及び第4光ユニット3906、3908を備えている。

【0363】第1光ユニット3902は、入力側導光路3918と、入力側導光路3918からの光信号を集光する入射側レンズ系3920との組合せを、光入力ポートの各々に対応付けて複数対備えている。

【0364】また、第2光ユニット3904は、これらレンズ系と対応付けて設けられている。そして、これらレンズ系からの光信号を反射させる複数の第1可動ミラー3922を備えている。

【0365】また、第3光ユニット3906は、第2光ユニット3904の第1可動ミラー3922からの光信号を個別に反射させる複数の第2可動ミラー3926を備えている。

【0366】第4光ユニット3908は、第2可動ミラー3926からの光信号を集光する出射側レンズ系3928と、このレンズ系から光信号が入射する出力側導光路3930との組合せを、光出力ポートの各々に対応付けて複数対備えている。

【0367】これら、第1、第2、第3、第4光ユニット3902～3908は、共通の基板3932上に設けられているのが好ましい。

【0368】また、この実施の形態の光スイッチ3900において、第1光ユニット3902内は、入力側導光路3918が第1基板3910に固定されており、同様に入射側レンズ系3920も第2基板3912に固定されており、第4光ユニット3908内は、出射側レンズ系3928が第3基板3914に固定されており、同様にして出力側導光路3930も第4基板3916に固定されている。

【0369】この光スイッチにおいて、第1基板から第4基板3910～3916は、熱膨張係数が小さいか、同一の基板であることが好ましい。

【0370】また、他の好適な例として、第1基板から

第4基板3910～3916は、共通基板3932より熱膨張係数が小さいか、或いは同一である。

【0371】この第9の実施の形態における熱膨張係数の具体的な値は、 $10^{-7}$ 以下のオーダーであることが望ましい。

【0372】この光スイッチ3900における各部の動作を説明する。ここで、この光スイッチ3900の動作を説明するために、図39に各部をつなぐ直線及び矢印3934～3938として、光束の形状を概略的に示す。また、図39に示すように、共通基板3932の横方向を $X_1$ 、長さ方向を $Y_1$ とする。

【0373】この光スイッチ3900において、入力ポートに設けられた入力側導光路3918である光ファイバの端面より、光信号が出力される。この光信号は、図39中に示した矢印3934のように、第2基板3912に設けられた可動レンズ3920へ光として入射し、コリメートされ、基板3924aに設けられた第1可動ミラー3922方向に向かう。

【0374】そして、この第1可動ミラー3922での光の入射角及び反射角、すなわちミラー面の基板3924aの表面に対する傾きを制御して、基板3924bに設置された所望の第2可動ミラー3926に、矢印3936で示したように、光ビームを向ける。

【0375】第2可動ミラー3926でも、これと同様の動作が行われる。すなわち、この第2可動ミラー3926での光の入射角及び反射角、すなわちミラー面の基板3924bの表面に対する傾きを制御して、それと対応した所望の出力ポートの方向に、矢印3938で示したように光ビームを向ける。

【0376】いま、温度変動により共通基板3932が膨張したとし、その場合の動作につき、図40を参照して説明する。図40は、第9の実施の形態における光スイッチの動作例を示した図で、この光スイッチは図39で説明した構成と同じであるので、同一の構成についての重複する説明は省略する。

【0377】このとき、膨張した共通基板を図中点線棒4032で示す。膨張する前の入力側スイッチ要素における各第1及び第2光ユニット3902、3904を基準として、第3光ユニット及び、第4光ユニットはそれぞれ4006、4008のように、その位置がずれる。

【0378】ここで、図39に示す構成において、第1光ユニット3902、及び第3光ユニット3906は、共通基板3932と同様に膨張する。しかし、第1基板3910と第2基板3912の熱膨張係数が同一であり、及び第3基板3914と第4基板3916の熱膨張係数が同一であれば、第2光ユニット3904に設けられた第1可動ミラー3922への光の入射位置ずれは生じるが、入射角は変動しない。この第1可動ミラー3922は、そのミラー面の基板3924aの表面に対する傾き角度における温度変動は小さいので、光ビームの伝

(30) 02-214546 (P2002-214546A)

搬角度にも変化はない。このとき第3光ユニット3906に設けられた第2可動ミラー3926においても、光は入射位置が変動するだけであって、入射角の変動は無い。この第2可動ミラー3926は、そのミラー面の基板3924bに対する傾き角度の温度による角度変化は小さいため、第2可動ミラー3926への入射位置は変動するものの、入射角度の変動は無い。

【0379】つぎに図41(A)を用いて、図39に示したこの光スイッチ3900における、出射側レンズ系として出力側スイッチ要素に設けられた可動レンズ3928への入射位置の変動効果を示す。

【0380】図41(A)における実線4104、4106、及び点線4108、4110は、光束の形状を概略的に示したものである。

【0381】実線で示した平行光ビーム4106は、出力側導光路3930として第4の基板3916に設けられた光ファイバの端面に、可動レンズ3928によって、集光される。

【0382】ここで図40を用いて説明した共通基板3932の熱膨張により、可動レンズ3928への光ビーム4106が、光ビーム4110のようにシフトして、出力側導光路3930である光ファイバへ入射するとする。

【0383】可動レンズ3928の性質から、この状態では点線で示した光ビーム4108のように、光ファイバ3930への光の入射角は、実線で示す光ビーム4104の光の入射角度から変動を生じる。

【0384】一般に、シングルモード光ファイバで0.5dB以下の光パワー変動には、入射角の変動は1.5度まで許容される。

【0385】ビーム位置ずれ量は、使用条件から要求される100℃の温度変化範囲で、数十ミクロン程度であるので、可動レンズ3928の焦点距離が1~2mmのものをいれば、損失変動を許容範囲内で抑えることが可能となる。この焦点距離は、通常良く使われるレンズ焦点距離に相当する。

【0386】温度変化による入力角の変化を小さくするためには、焦点距離の長いレンズが望ましいが、可動ミラーの角度誤差による焦点位置ずれを小さく抑えるには、焦点距離が短いレンズがよい。したがって、レンズの焦点距離の最適長がありうる。すべての構造物が同一の膨張係数を有しているときには、温度変化による、入射角変動は生じない。このときは焦点距離は短いほど良い。

【0387】図41(B)を参照しながら、図39に示したような構成の第9の実施の形態の光スイッチ3900において、基板3924aに設けられた第1可動ミラー3922と、基板3924bに設けられた第2可動ミラー3926を含む部分に注目し、ここでの動作を説明する。

【0388】ただし、図41(B)はより詳細にこの説明を行うために、次のような構成とした。すなわち、図39に示した光スイッチにおいて、第2光ユニット3904に設置された基板4112上に第1可動ミラー4116a~4116dが設けられ、第3光ユニット3906に設置された基板4114上に第2可動ミラー4118a~4118dが設けられている。そして、基板4112の垂直方向に距離 $L_{41}$ だけ離れた位置に、基板4114は配置されている。

【0389】第2光ユニットにおける可動ミラー4116a~4116dのうちのひとつ、すなわち、ここでは可動ミラー4116aに更に注目する。可動ミラー4116aと4118dをつなぐ矢印4120は、可動ミラー4116aに入射して反射した光線束の中心光路を示すものであり、出力側可動ミラー4118dへ入射するようすを表している。

【0390】これより、図40において説明したような共通基板3932の熱膨張に伴う光線束の中心光路4120について、可動ミラー4118d上における位置ずれを計算する。ここでは、この光線束4120の可動ミラー4118dへの入射角 $\theta_{41}$ を一定とし、またこれは微量であると仮定する。さらに、共通基板3932の $X_1$ 方向の熱膨張率を $\alpha_1$ 、 $Y_1$ 方向の熱膨張率を $\alpha_1'$ 、基板4112、4114の熱膨張率を $\beta$ とする。

【0391】ここで、基板4114と基板4112における可動ミラー4116aの位置を考える。この位置は、次のような2種類の相対位置の合計値として表される。

【0392】すなわち、基板4114上における可動ミラー4118dの位置と、基板4112の基板4114に対する相対位置を考える。

【0393】基板4114上における、可動ミラー4116dの可動ミラー4118aに対する相対位置は、図41(B)に示すように、基板4114上において可動ミラー4118aと可動ミラー4118dとの距離Sとすることができる。

【0394】また、基板4112上における可動ミラー4116aの基板4114に対する相対位置は、図41(B)に示すように、基板4114上において可動ミラー4116aと対称の位置に存在する可動ミラー4118aと可動ミラー4116aとの $X_1$ 方向の水平距離 $r$ とすることができる。

【0395】よって、これらの数値を用いて、基板4112と基板4114における可動ミラー4116aに対する可動ミラー4118dの位置は $r+S$ となる。そして、この値を利用すれば入射角 $\theta = (r+S)/L_{41}$ と表される。この結果、図40で説明したような熱膨張が起こる前の状態では、光線束の中心光路4120の可動ミラー4118dにおける入射位置はもともと $\theta_{L_{41}}$ となる。



(お1) 02-214546 (P2002-214546A)

【0396】さらに、ここで図39の光スイッチ3900の内部、すなわち図41(B)において、熱膨張が生じたとする。

【0397】この場合、図41(B)における光線束の中心光路4120の可動ミラー4118d上への入射位置は、 $\theta_{41}\alpha_1'$  Lとなる。すなわち、光線束の中心光路4120の出力側可動ミラー4118d上における理論的な入射位置は、 $\alpha_1'(r+S)$ である。

【0398】しかし、実際は、図39において共通基板3932の $X_1$ 方向、 $Y_1$ 方向、及び基板3924a(すなわち図41(B)においては基板4112)と基板3924b(すなわち図41(B)においては基板4114)の熱膨張率はそれぞれ異なる値である。すなわち、光線束の中心光路4120の可動ミラー4118d上における入射位置は、 $\alpha_1'r + \beta S$ になっている。

【0399】これらの差を求めると、 $\{(\alpha_1 - \alpha_1')r + (\beta - \alpha_1')S\}$ となる。これを相対的ビームシフトという。

【0400】ところで、図39に示したような構成の光スイッチ3900において、 $r$ 、そして $S$ の最大値はともに数cmの大きさに設定する。

【0401】そして、図39において基板3924a、3924bをシリコン(Si)( $\beta - 1 = 3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )、共通基板3932を鉄(Fe)( $\alpha' - 1 = 11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )とすると、100度の温度変化で、相対的ビームシフトを求めると、数10 $\mu\text{m}$ 程度となる。

【0402】さらに共通基板3932を、ニッケル銅(64Fe36Ni)( $\alpha' - 1 = 0.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )あるいはカーボンのような熱膨張の小さいもの、すなわち( $\alpha' - 1$ ) =  $10^{-7}$ 以下のものを用いると、相対的ビームシフトの量を半分以下にすることができる。

【0403】[第10の実施の形態]次に、この発明の光スイッチの動作を制御するための光スイッチ装置について、図43を用いて説明する。

【0404】この光スイッチ装置4300は、スイッチング用可動部4302を有する光スイッチ4304と、光スイッチ4304からの出射光をモニタするモニタ部4306と、モニタ部4306からのモニタ信号にตอบสนองして、スイッチング用可動部4302を制御することにより、光スイッチ4304のスイッチングの制御状態を調整するための動作制御部4308とを備えている。

【0405】この光スイッチ装置4300は、第1の光スイッチ4310と第2の光スイッチ4312を有している。スイッチング用可動部4302は、構成が全く同一で、第1及び第2の光スイッチ4310、4312へ光信号を入力するために、互いに同一構成の第1の光信号導入手段4314と第2の光信号導入手段4316を有し、モニタ部4306は、互いに同一構成の第1の光信号出力手段4318と第2の光信号出力手段4320を有している。

【0406】第1及び第2の光信号導入手段4314、4316は、監視用信号出力源4322と、信号合成部4324とを有している。そして、信号合成部4324は、監視用信号出力源4322から出力された監視用信号と、外部よりこの光スイッチ装置4300に入力された光信号とをひとつの合成信号にした後、第1及び第2の光スイッチ4310、4312へ入力させる。ここでは、信号合成部4324としては、入力側カプラを用いている。また、この入力側カプラには複数の入力側導光路4330として複数の光ファイバが接続されている。

【0407】また、第1、第2の光信号出力手段4318、4320は、光信号分配部4326とモニタ4328とを有していて、光信号分配部4326は、モニタ4328及び光スイッチ装置4300の外部に、光スイッチ4304より出力した光信号を分配して、出力する。ここでは、光信号分配部4326として、出力側カプラを用いる。この出力側カプラには複数の出力側導光路4332として光ファイバが接続されており、この光ファイバより光スイッチ装置4300の外へ光信号が出力される。

【0408】さらに、この光スイッチ装置4300によれば、第1、第2の光信号出力手段4318、4320にフィルタを設け、光信号分配部4326より出力された合成信号から光信号のみを取りだし、光スイッチ装置4300の外部へ出力する。監視用信号出力源4322の動作は、動作制御部4308にて制御される。

【0409】第2の光スイッチ4312は予備用に使用されるほか、スイッチング用可動部4302からの光信号を、第1及び第2の光信号出力手段4318、4320へ、放送分配するときにも使用されることが好ましい。

【0410】次にこの光スイッチ装置4300の動作について説明する。

【0411】各入力側導光路4330より出力した光信号は、監視用信号出力源4322から出力された監視用信号と、入力側カプラ4324において合成され、合成信号となる。監視用信号は、光スイッチ4304のポート番号に対応するような目印となる信号とする。この監視用信号の符号、周波数、波長を変化させることにより、ポート識別を行うことができる。

【0412】入力側カプラ4324から出力した合成信号は、第1及び第2の光スイッチ4310、4312へ分配され、入力される。そして、第1及び第2の光スイッチ4310、4312において、回線交換が行われる。第1及び第2の光スイッチ4310、4312より出力したそれぞれの合成信号は、出力側カプラ4326において合流され、出力側導光路4332に導かれる。

【0413】ここで、出力側カプラ4326は、出力側導光路4332と、モニタ4328へ合成信号を分配する。また、監視用信号が光スイッチ装置4300の外部

(32) 102-214546 (P2002-214546A)

へ出力されないように、出力側カプラ4326と出力側導光路4332の間にフィルタを設け、光信号のみを分離する構成であることが望ましい。このとき、光信号と監視用信号で異なる波長を用いると分離が容易である。

【0414】監視用信号は、モニタ4328へ送られる。モニタ4328は、監視用信号より必要な情報を抽出する。

【0415】ここで、この光スイッチ装置4300において、入力側導光路4330を入力ポート、出力側導光路4332を出力ポートと呼ぶことにする。

【0416】モニタ4328は、監視用信号中のポート識別信号より、各光信号がどの入力ポート4330から来たかをモニタする。このほか、光スイッチの制御状態、例えば、光パワーのモニタによる光軸位置情報が監視される。

【0417】監視用信号の情報は、動作制御部4308に設けられた制御回路に送られる。そして、この動作制御部4308によって、光スイッチ4304の状態は最適な状態に保たれる。切換のときに正しいポートに接続されたかを検出するのも、この動作制御部4308に設けられた制御回路の役割となる。

【0418】なお以上の説明において、監視用信号出力源4322を設置することによって、監視用信号を光信号と合成する例を紹介した。しかし、この光スイッチ装置4300においては、必ずしも監視用信号出力源4322を設置する必要はない。このとき、第1及び第2の光信号導入手段において、監視用信号は出力されず、第1及び第2の光スイッチへは、光信号のみが入力される。そして、モニタ4328によって光信号のみのモニタが行われる。よって、この場合光信号出力手段4318、4320には光信号を分離するためのフィルタを設ける必要はない。

【0419】また、この光スイッチ装置4300において用いられる第1及び第2の光スイッチ4310、4312は、本発明の光スイッチの構成に限られない。よって、図44に示した従来の光スイッチ4400のようなものについてもこの光スイッチ装置を用いて、動作を制御することは可能である。

【0420】図44に示した光スイッチ4400について、図43の光スイッチ装置4300を用いて、この光スイッチ4400の制御状態を検出するための方法について、図43及び図42を参照して、説明する。

【0421】図42は、図44に示した光スイッチ4400において、入力側スイッチ要素4200に設けられた一つの偏向素子4402bに注目し、これと対応する出力側スイッチ要素4202に設けられた光偏向素子4402aとの動作について説明するための図である。よって、従来技術において説明した図44と同様の構成、動作について重複する説明は省略する。

【0422】また、図42において、各部をつなぐ直線

は各部における光の形状を概略的に表している。また、図中の可動ミラー4414a、4414bに記した矢印は、これら可動ミラー4414a、4414bの動く方向を表す。この可動ミラー4414a、4414bの駆動は、例えば図12において説明したものと同様の方法を用いて、駆動電圧を変化させることにより行われる。

【0423】先ず、切り替えが終了して、回線が保持されている状態の説明を行う。

【0424】このとき図43の光スイッチ装置4300に設けられているモニタ4328において、監視用信号に含まれる識別信号によって、入力ポート番号の情報が抽出される。

【0425】図42において、入力側スイッチ要素4200に設けられている可動ミラー4414aの経時変化、例えば駆動電圧の変化、温度変動などによって、ビーム角度はずれてくることがある。このずれに起因して、出力ファイバ4408bでの焦点位置が変動し、信号の光パワーが変動する。

【0426】この変動は、図43の光スイッチ装置4300に設置されたモニタ4328によって、検出される。そして、モニタ4328より送られてきた情報をもとに、動作制御部4308は、この変動を検知してビーム角度がずれたと判断する。

【0427】このとき、図42において、可動ミラー4414a、4414bの角度を適切な角度とするための情報を、再び図43の光スイッチ装置において、動作制御部4308より光スイッチ4400へ、フィードバックする必要がある。この際、動作制御部4308は、どのミラーをどの方向の角度に回転させるかを判断しなければならない。

【0428】そのため、動作制御部4308は、図42における可動ミラー4414a、4414bをデータ信号に影響を与えない範囲で、わずかに回転させるよう、光スイッチ4400へ情報を送る。この結果、光スイッチ4400において、可動ミラー4414a、4414bを動作させる駆動電圧がわずかに変化する。

【0429】これに伴う信号の光パワーの変動は、モニタ4328において検出される。この情報をもとに、動作制御部4308は、パワーが増大する方向に調整を加える情報を光スイッチ4400に送る。そして、可動ミラー4414a、4414bを動作させる駆動電圧が制御されることによって、光スイッチ4400は最適状態に復帰する。

【0430】ここで図42における可動ミラー4414a、4414bには、その駆動電圧を変化させることにより、それぞれ常に周期の異なる微弱な回転ぶれを与えておけば、どの程度の電圧をどの方向にかければ、修正が可能かをモニタすることができる。

【0431】また、これによって可動ミラーの剛性の変化など、経時変化を検出することが可能である。可動ミ

(お 3) 102-214546 (P 2002-214546A)

ラー角度の0点移動は、保持している間の、可動ミラー制御電圧の経時変化で検出することができる。これらのミラー制御に関する情報により、必要なときに可動ミラーが動くかどうかの判断も可能となる。これらの制御はすべて動作制御部4308によって行われる。

【0432】

【発明の効果】この発明の第1の光スイッチによれば、光ビームの偏向を行うために複数個の光偏向素子を用いているので、偏向角度の精度が各光偏向素子に振り分けられる。したがって、各光偏向素子の必要精度が緩和される。

【0433】また、この発明の第2、第3の光スイッチによれば、光入出力角すなわち光の入射角或いは出射角を拡大するための光学系または光のビーム径を拡大するための光学系を備えることにより、必要な精度を確保しつつもチャネル数の増大が図れる。

【0434】また、この発明のさらに第4の光スイッチによれば、入力側の可動ミラーで反射された光を出力側の可動ミラーに集光するための光学素子を備えることにより、可動ミラーの角度制御精度が緩和され、ミラー角の切り替えを高速で行うことが可能になる。

【0435】またこの発明の第5～7の光スイッチによれば、出力ポートへ光を出射させるとき、入力側光スイッチ要素のどの入力ポートにある光偏向素子においても、とりうる偏向角の値の範囲は同じであるため、チャネル数の増大をはかることができる。

【0436】また、第6、7の光スイッチは、入力側集光レンズ系に設けられた可動ミラーの傾き角と出力ポートの関係が一对一に対応できるため、駆動が簡単となる。

【0437】また、第8の光スイッチによれば、温度変化があったとしても焦点位置ずれを最小とし、光ファイバへの入力角度ずれのみを生じさせ、光出力に対する影響がより少ない構造としたため、温度変化による出力パワー変動を抑えることが可能となる。

【0438】また、この発明の光スイッチについて、光スイッチ装置を用いることにより、光スイッチの状態監視が可能となり、しかも予備系の配置と2方向への放送分配機能が、少ない部品数で実現される。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。

【図2】可動レンズの構成例を示す図である。

【図3】光スイッチの一部の断面を示す図である。

【図4】入力側スイッチ要素の断面を示す図である。

【図5】実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図6】実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図7】実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供

する図である。

【図8】実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図9】実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図10】実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図11】第2の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。

【図12】第2の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。

【図13】典型的な光スイッチの要部構成を示す図である。

【図14】可動ミラー型光スイッチの要部構成を示す図である。

【図15】可動レンズ型光スイッチの要部構成を示す図である。

【図16】可動レンズ型光スイッチの要部構成を示す図である。

【図17】第3の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。

【図18】第3の実施の形態の光スイッチの変形例の要部構成を示す図である。

【図19】第4の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。

【図20】第5の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。

【図21】誤差の光線行列による解析の説明に供する図である。

【図22】誤差の光線行列による解析の説明に供する図である。

【図23】第5の実施の形態の光スイッチの第1変形例を示す図である。

【図24】第5の実施の形態の光スイッチの第2変形例を示す図である。

【図25】(A)は第8の実施の形態の光スイッチの従来例として、光学素子に、固定反射鏡を用いた光スイッチの例を示す図である。(B)は第8の実施の形態の光スイッチの例について、光学素子として固定反射鏡を用いた例を示す図である。

【図26】第1～第5の実施の形態の改良点を説明する図である。

【図27】第6の実施の形態の光スイッチ(光学素子として凸レンズを用いた例)を示す図である。

【図28】(A)は入力側スイッチ要素の構成(第1の形態)を示す図である。(B)は入力側スイッチ要素の構成(第2の形態)を示す図である。

【図29】第6の実施の形態の光スイッチ(光学素子として凹面鏡を用いた例)を示す図である。

【図30】第6の実施の形態の光スイッチ(光学素子と

(お4) 02-214546 (P2002-214546A)

してホログラムを用いた例)を示す図である。

【図31】(A)は基板上に集積されたレンズ系の例を示す断面図である。(B)は基板上に集積されたレンズ系の例を示す平面図である。

【図32】(A)は第6の実施の形態において、凹レンズと光学素子間の光束の形状を示す図である。(B)は第6の実施の形態において、可動ミラーから光学素子通過後までの光束の形状を示す図である。

【図33】第6の実施の形態において、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素間の光束の形状を示す図である。

【図34】第7の実施の形態の光スイッチの例を示す図である。

【図35】第7の実施の形態における光学素子と可動ミラーの配置の例を示す図である。

【図36】(A)は第8の実施の形態による改良を行う前の光スイッチにおける動作を説明する図である。

(B)は光偏向素子として可動レンズを用いた構成の第8の実施の形態の動作を説明するための図である。

【図37】光学素子としてリレーレンズを用いた構成の、第8の実施の形態の動作を説明する為の図である。

【図38】第8の実施の形態において、凸レンズを挿入した場合のレンズ系の動作例を示す図である。

【図39】第9の実施の形態の光スイッチの構成例を示す図である。

【図40】第9の実施の形態の光スイッチ動作を示す図である。

【図41】(A)は第9の実施の形態の出力側スイッチ要素の動作例を示す図である。(B)は第9の実施の形態における第1可動ミラーと第2可動ミラーの動作例を示す図である。

【図42】第10の実施の形態の動作例を示す図である。

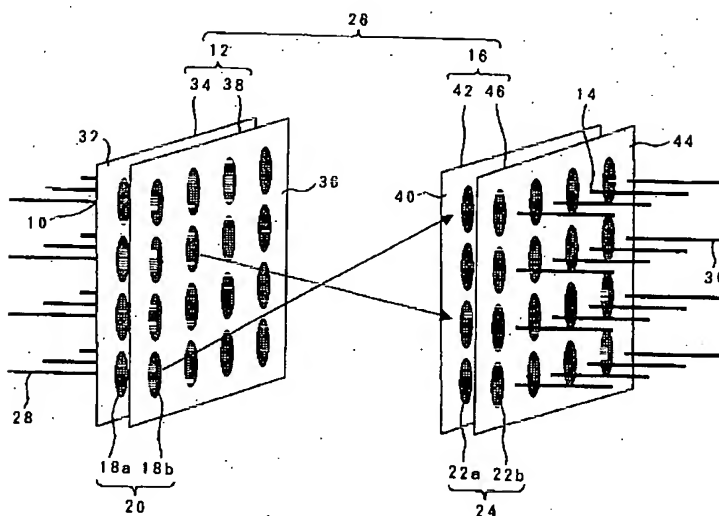
【図43】第10の実施の形態の構成例を示す図である。

【図44】(A)は従来の光スイッチの構成例を示す図である。(B)は従来の光スイッチに用いる光偏向素子の構成例を示す図である。

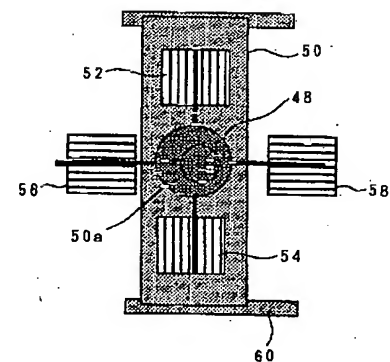
#### 【符号の説明】

- 10：光入力ポート
- 12：入力側スイッチ要素
- 14：光出力ポート
- 16：出力側スイッチ要素
- 18a、18b、22a、22b：光偏向素子
- 20：入力側光偏向素子群
- 24：出力側光偏向素子群
- 26：光スイッチ
- 28、30：光ファイバ
- 32、36、40、44：基板
- 34：第1偏向素子アレイ
- 38：第2偏向素子アレイ
- 42：第3偏向素子アレイ
- 46：第4偏向素子アレイ

【図1】

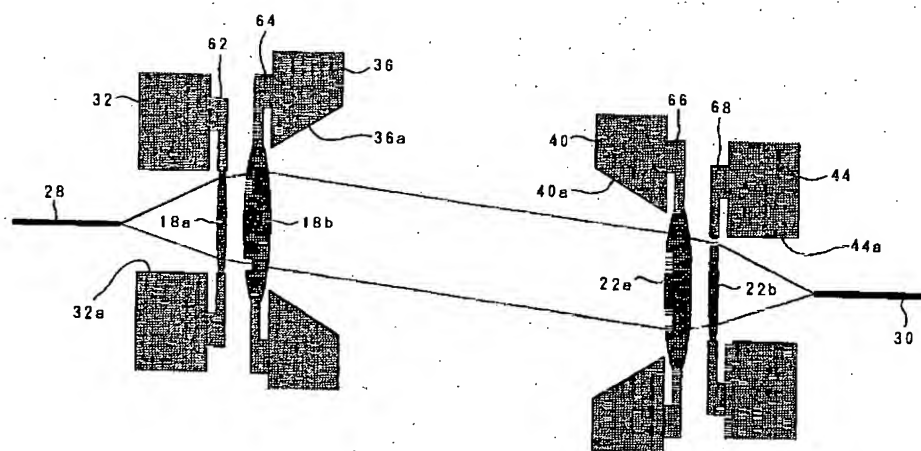


【図2】

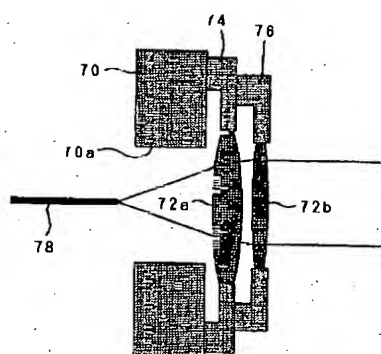


(35) 02-214546 (P2002-214546A)

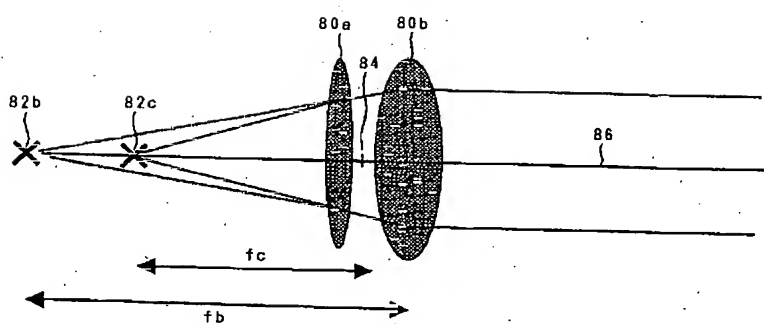
【図3】



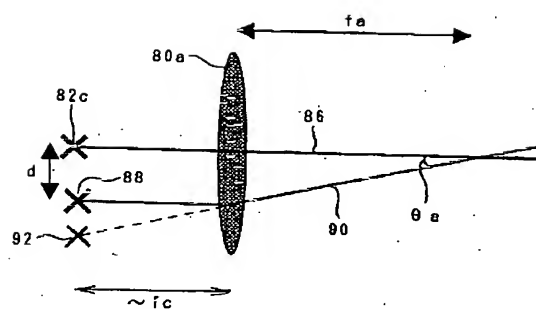
【図4】



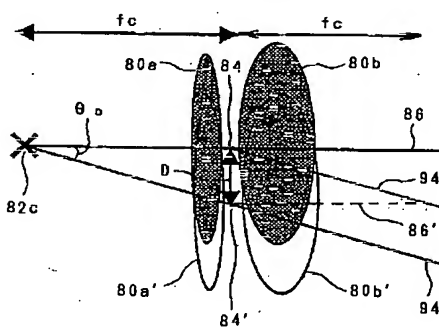
【図5】



【図6】

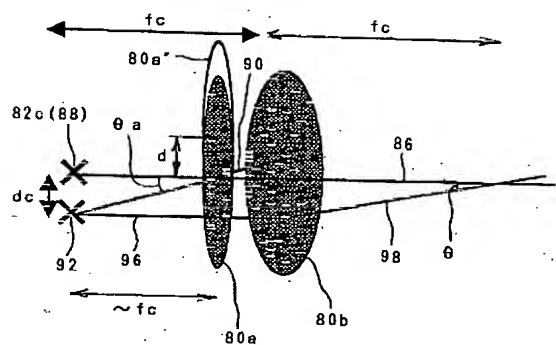


【図7】

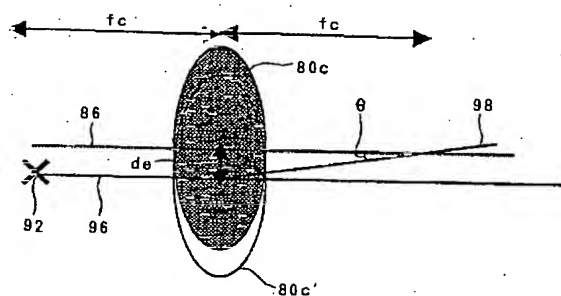


(36) 002-214546 (P2002-214546A)

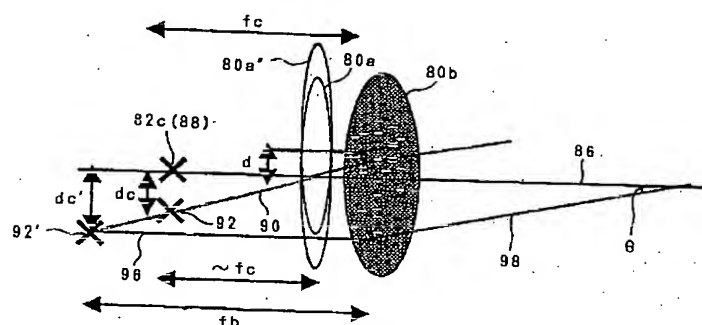
【図8】



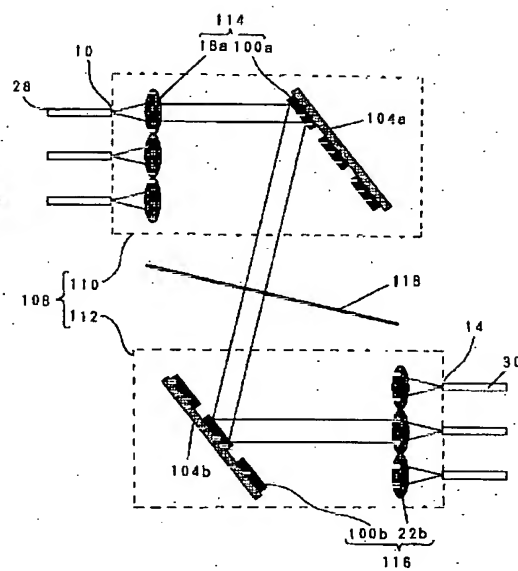
【図10】



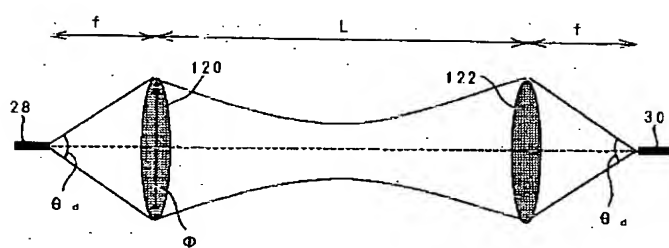
【図9】



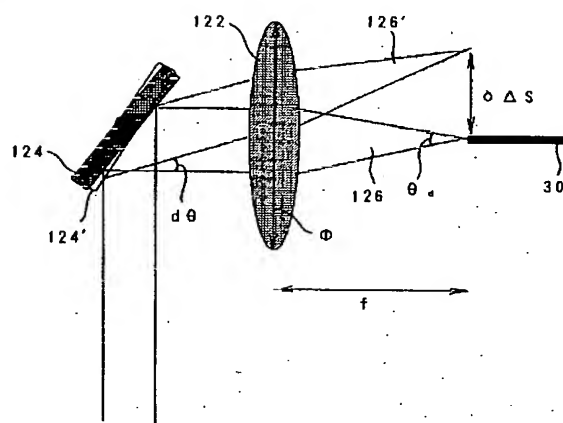
【図11】



【図13】

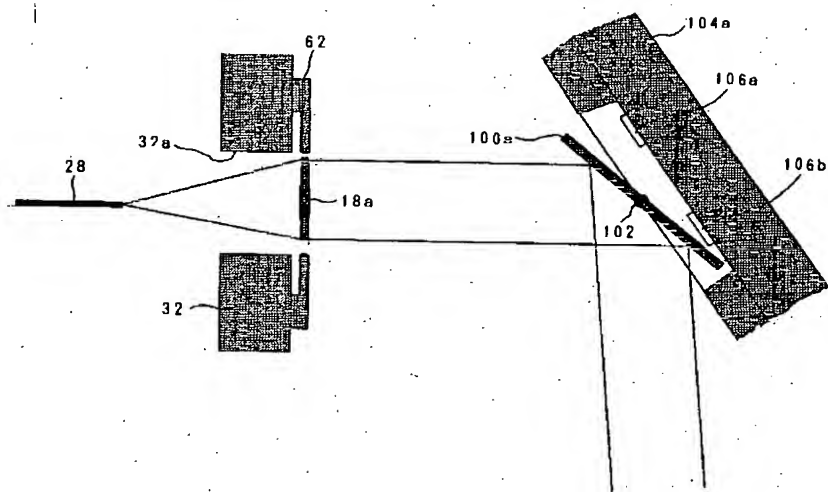


【図14】

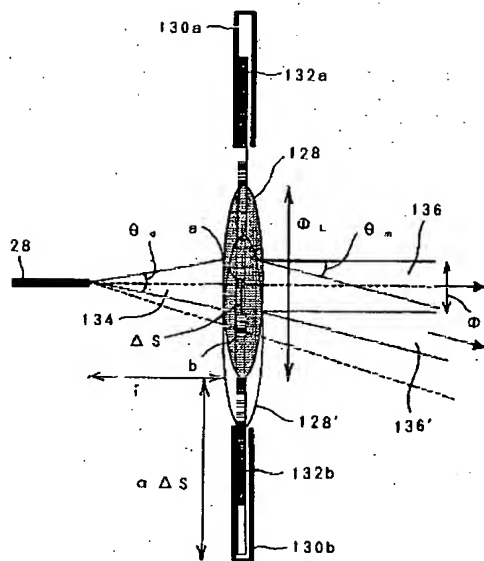


(S7) 102-214546 (P2002-214546A)

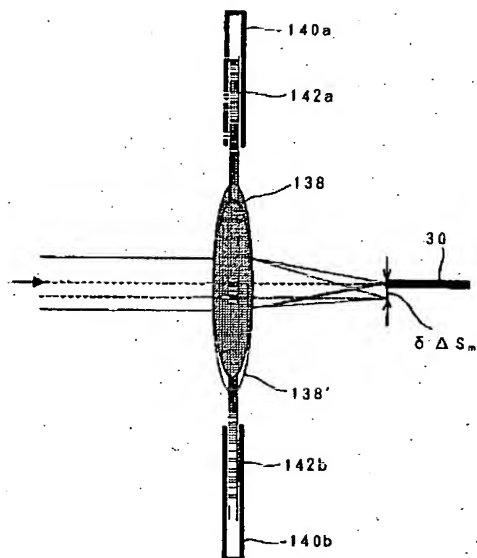
【図 1.2】



【図15】

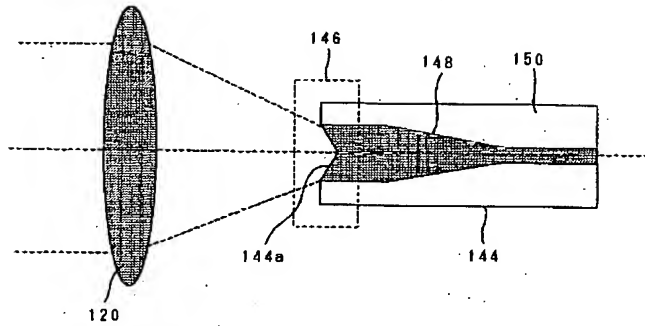


【图 16】

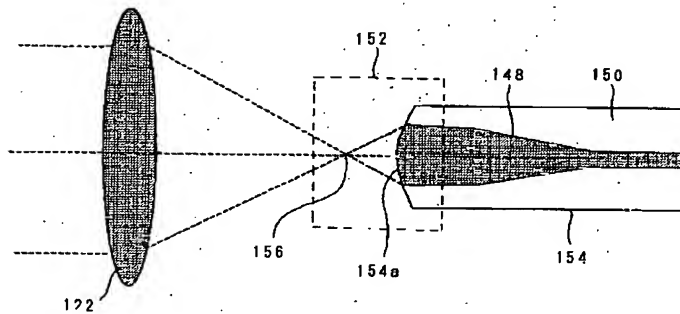


(38) 002-214546 (P2002-214546A)

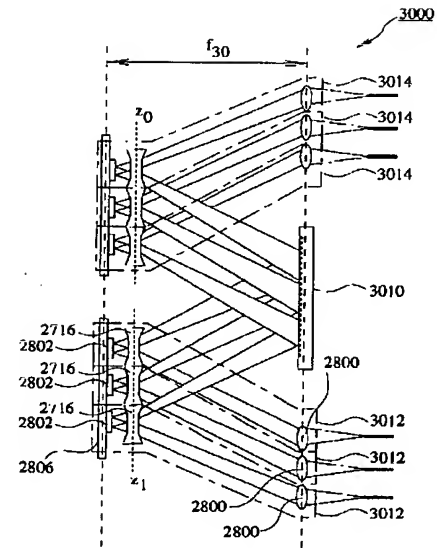
【図17】



【図18】



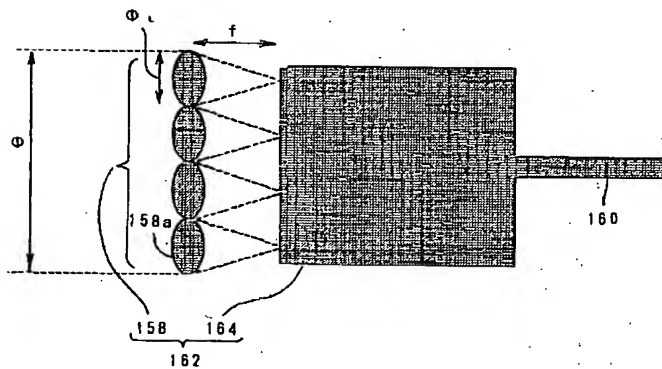
【図30】



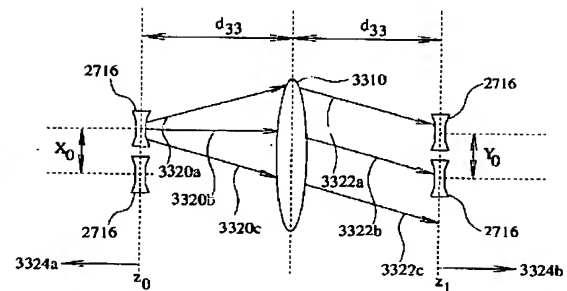
3000: 光スイッチ 3010: 光学素子 (ホログラム)  
 3012: 入力側レンズ系 3014: 出力側レンズ系  
 $f_{30}$ : 光学素子3010の焦点距離

第6の実施の形態の光スイッチ (光学素子はホログラム)

【図19】



【図33】



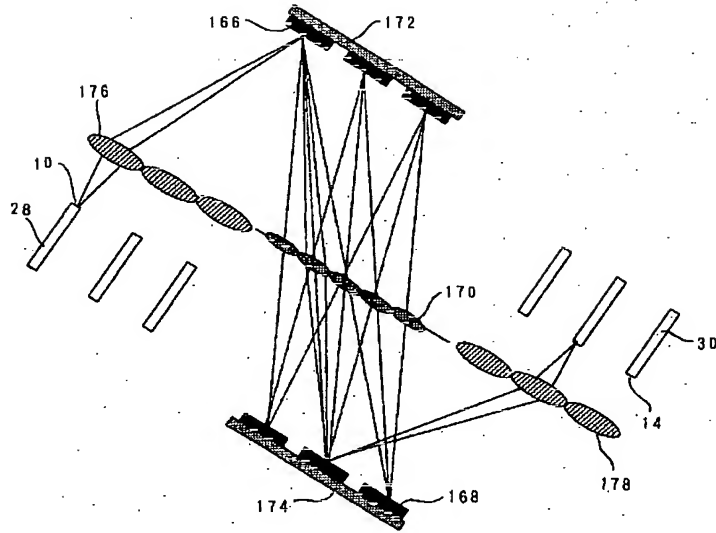
3310: 光学素子 3320a~3320c, 3322a~3322c: 光線束の形状  
 3324a: 入力側スイッチ要素 3324b: 出力側スイッチ要素  
 $d_{33}$ : 光学素子3310と光が出射する面 $z_0$ の間の距離  
 $X_0$ : 光が出射する面 $z_0$ に設けられた凹レンズ2716の中心間の距離  
 $Y_0$ : 光が入射する面 $z_1$ に設けられた凹レンズ2716の中心間の距離

入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素間の光束の形状を示す図

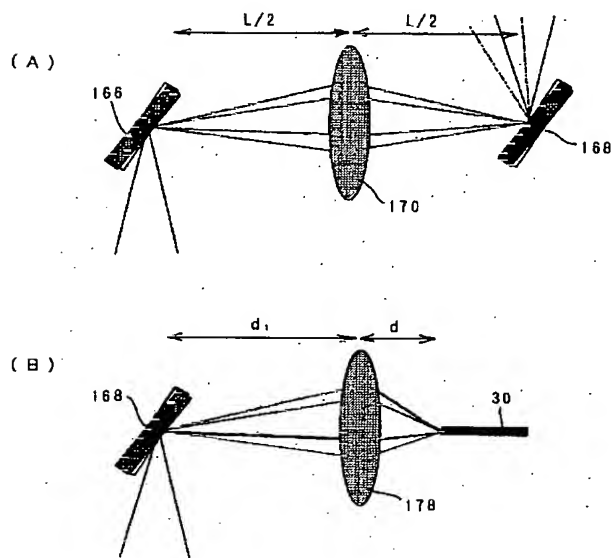


(39) 02-214546 (P2002-214546A)

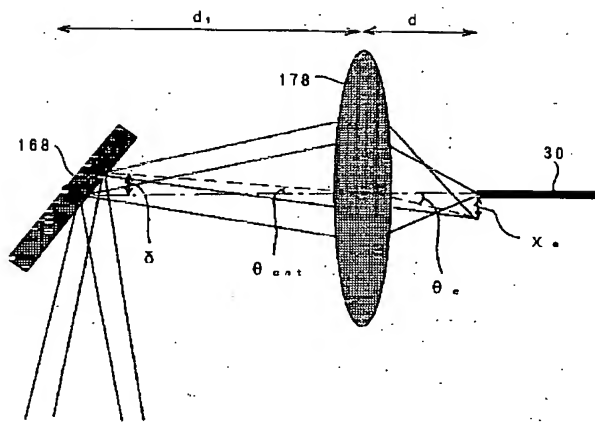
【図20】



【図21】

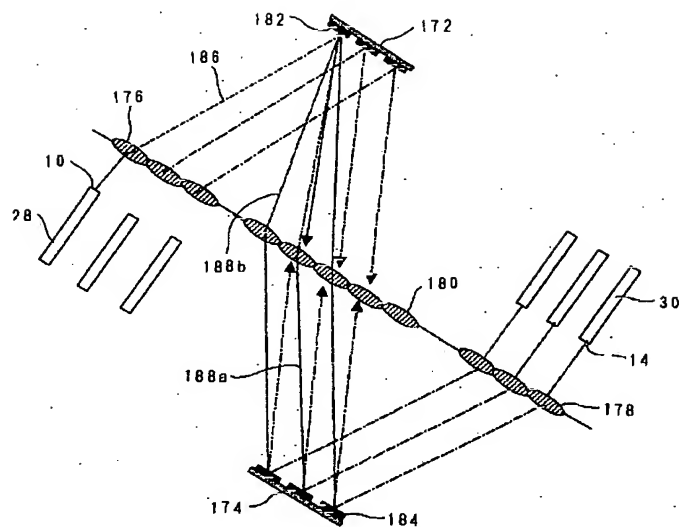


【図22】

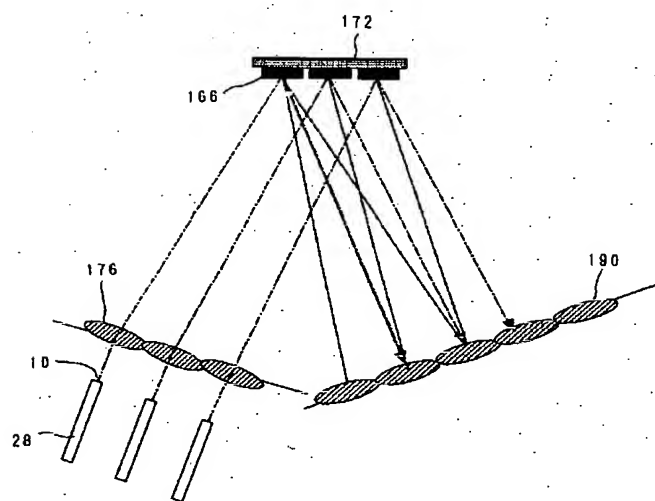


(40) 02-214546 (P2002-214546A)

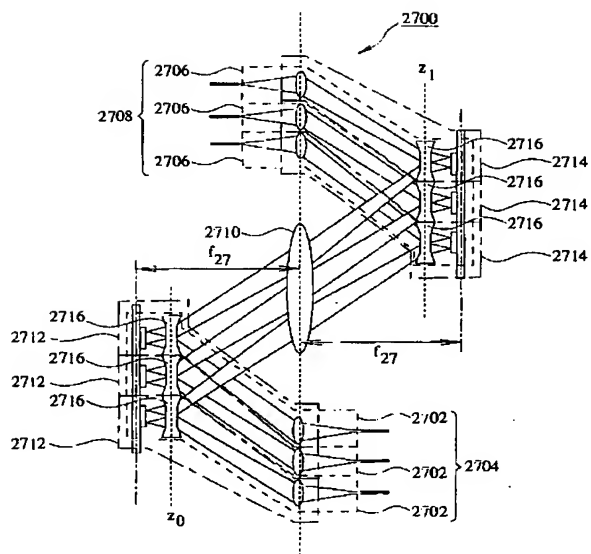
【図23】



【図24】



【図27】

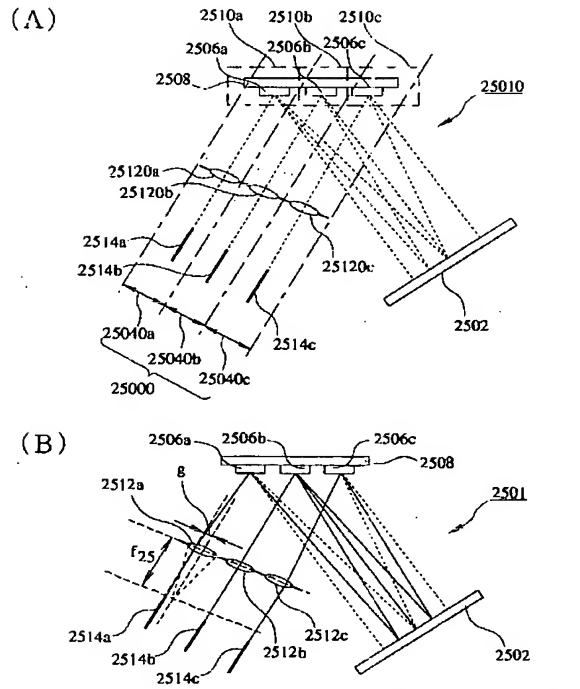


2700: 光スイッチ    2702: 光入力ポート    2704: 入力側スイッチ要素  
 2706: 光出力ポート    2708: 出力側スイッチ要素    2710: 光学素子 (凸レンズ)  
 2712: 入力側レンズ系  
 2714: 出力側レンズ系  
 2716: 凹レンズ  
 $z_0$ : 入力側スイッチ要素の光が出射する面  
 $z_1$ : 出力側スイッチ要素の光が入射する面  
 $f_{27}$ : 光学素子 (凸レンズ) 2710の焦点距離

第5の実施の形態の光スイッチ (光学素子は凸レンズ)

(特1) 02-214546 (P2002-214546A)

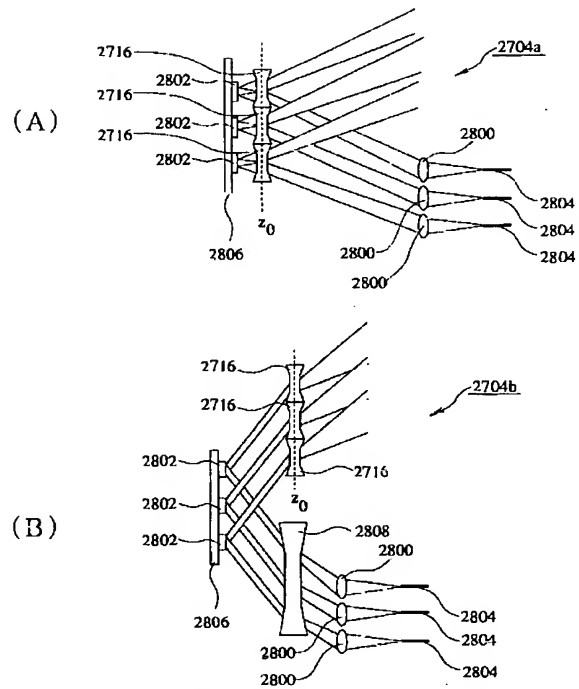
【図25】



25010: 光スイッチ  
 25040a~25040c: 光入出力ポート  
 2506a~2506c: 可動ミラー  
 2510a~2510c: 光偏向素子  
 2512a~2512c: 光ファイバ  
 2514a~2514c: 固定レンズ  
 25000: 入出力側スイッチ要素  
 2502: 固定反射鏡  
 2508: 基板  
 25120a~25120c: コリメータレンズ (固定レンズ)  
 2501: 光スイッチ

第8の実施の形態と従来の光スイッチの構成例 (光学素子は固定反射鏡)

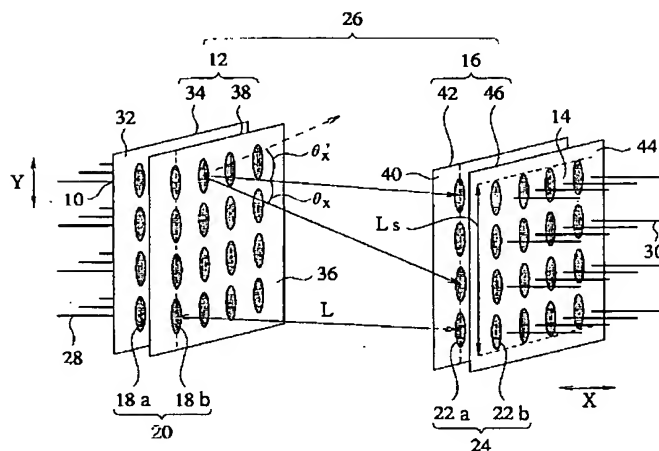
【図28】



2704a: 第1の形態の入力側スイッチ要素  
 2704b: 第2の形態の入力側スイッチ要素  
 2800: 固定レンズ  
 2802: 可動ミラー  
 2804: 光ファイバ  
 2806: 基板  
 2808: 第2の凹レンズ

入力側スイッチ要素の構成

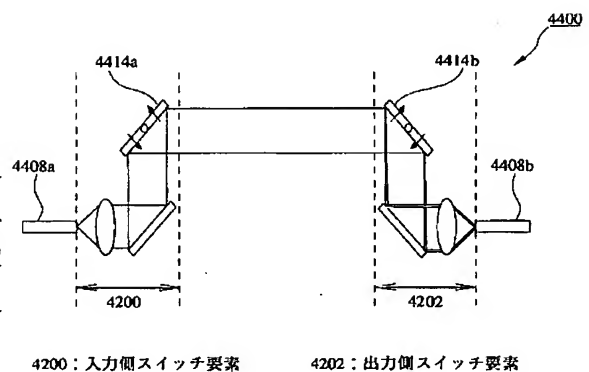
【図26】



X: 水平方向 Y: 上下方向

第1~第5の実施の形態の改良点

【図42】



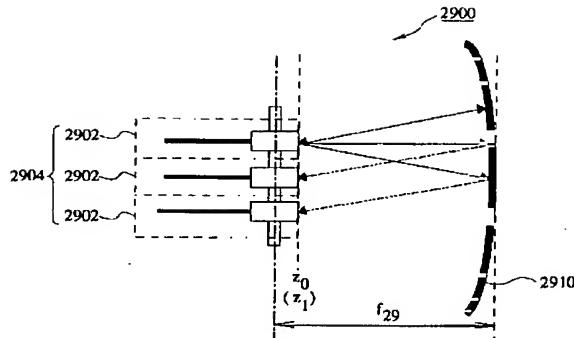
4200: 入力側スイッチ要素

4202: 出力側スイッチ要素

第10の実施の形態の動作例

(特) 2002-214546 (P2002-214546A)

【図29】

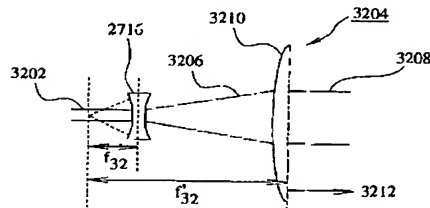


2900: 光スイッチ 2902: 光入出力ポート 2904: 入出力側光スイッチ要素  
 2910: 光学素子 (凹面鏡)  
 $f_{29}$ : 凹面鏡2910の焦点距離

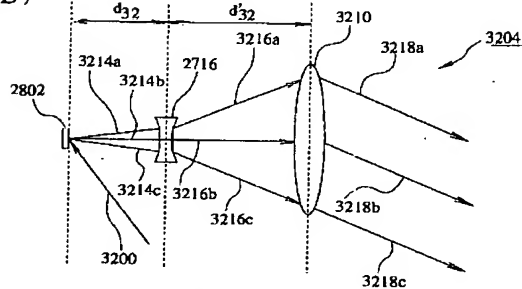
第6の実施形態の光スイッチの例 (光学素子は凹面鏡)

【図32】

(A)



(B)

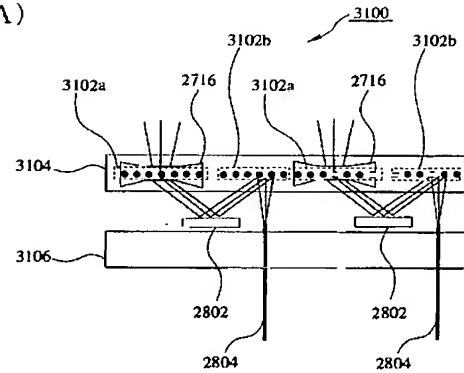


3202, 3206, 3208: 光線束の形状 3204: 入力側スイッチ要素  
 3210: 光学素子 3212: 光学素子の内部  
 $f_{32}$ : 凹レンズの虚焦点までの距離  
 $f_{32}$ : 光学素子の焦点距離  
 3200: 可動ミラー2802への入射光線束の中心光路  
 3214a~3214c, 3216a~3216c, 3218a~3218c: 光線束の形状  
 $d_{32}$ : 可動ミラーと凹レンズ間の距離  
 $d_{32}$ : 凹レンズと光学素子間の距離

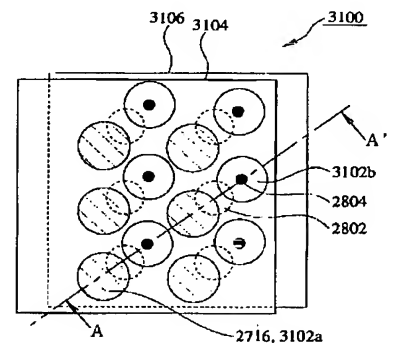
第6の実施形態の光スイッチにおける光束の形状を示す図

【図31】

(A)



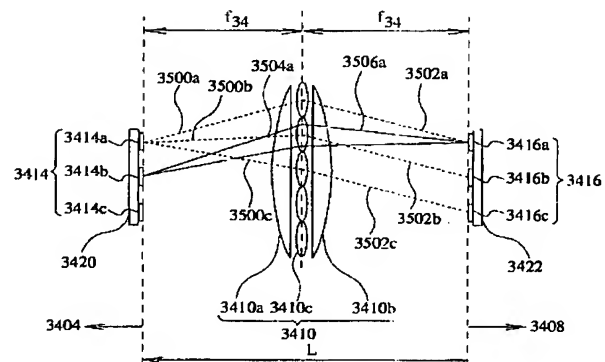
(B)



3100: 入力側スイッチ要素 3102a, 3102b: ホログラム  
 3104: 基板 a 3106: 基板 b

基板上に集積されたレンズ系を示す例

【図35】

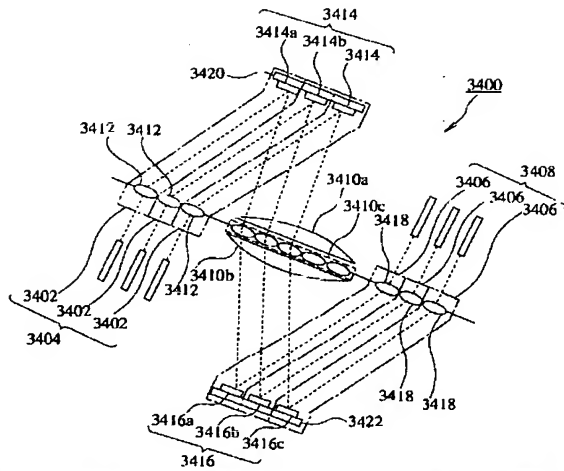


3410: 合成レンズ  
 3500a~3500c, 3502a~3502c, 3504a, 3506a: 光線束の形状  
 $f_{34}$ : 合成レンズの焦点距離 L: 可動ミラー3414、3416間の距離

第7の実施形態における光学素子と可動ミラーの配置の例

(特) 2002-214546 (P2002-214546A)

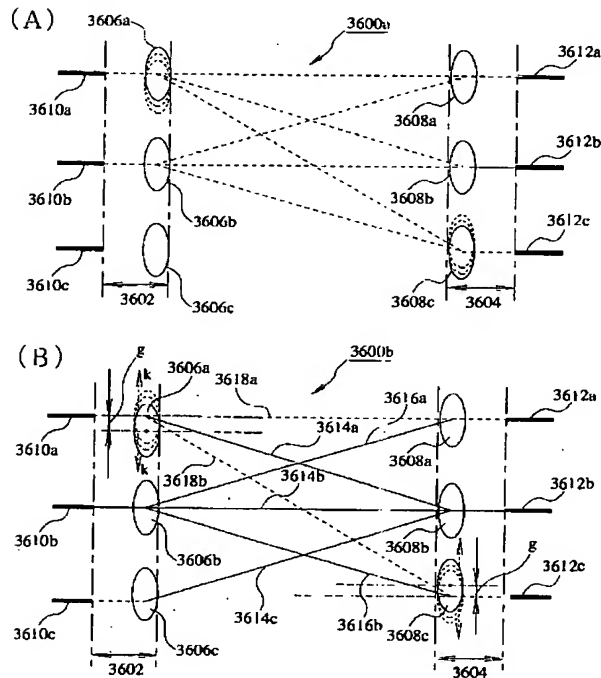
【図34】



3400: 光スイッチ  
 3402: 入力側スイッチ要素  
 3404: 入力側スイッチ要素  
 3406: 出力側スイッチ要素  
 3408: 出力側スイッチ要素  
 3410a, 3410b: 第2凸レンズ  
 3410c: 第1凸レンズ  
 3412, 3418: 固定レンズ  
 3414, 3416: 可動ミラー  
 3420, 3422: 基板

第7の実施の形態の光スイッチの例

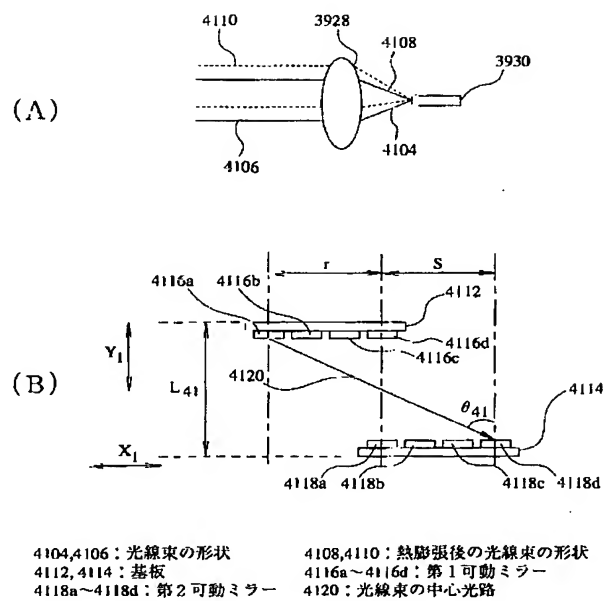
【図36】



3600a, 3600b: 光スイッチ  
 3602: 入力側スイッチ要素  
 3604: 出力側スイッチ要素  
 3606a~3606c, 3608a~3608c: 可動レンズ  
 3610a~3610c, 3612a~3612c: 光ファイバ  
 3614a~3614c, 3616a, 3616b, 3618a, 3618b: 光線束の中心光路

動作における改良前の光スイッチと第8の実施の形態との比較例

【図41】

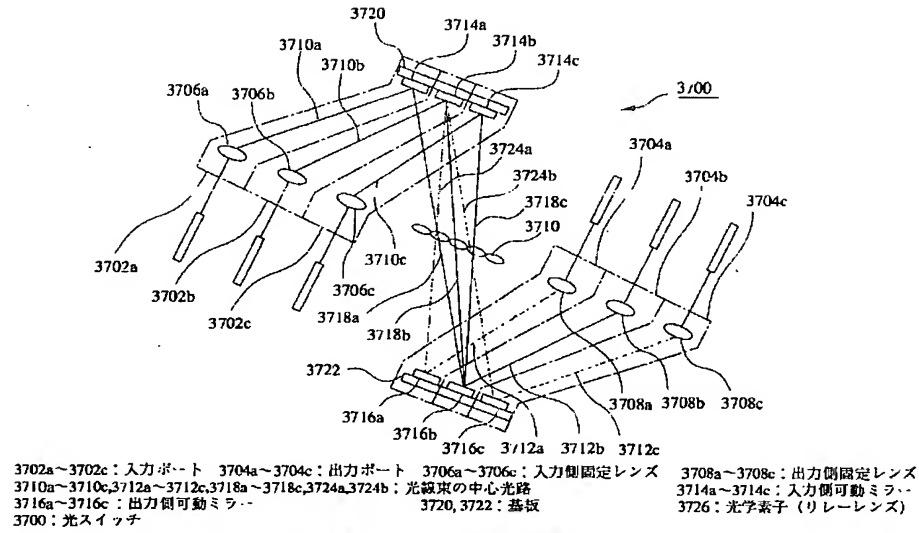


4104, 4106: 光線束の形状  
 4108, 4110: 熱膨張後の光線束の形状  
 4112, 4114: 基板  
 4116a~4116d: 第1可動ミラー  
 4118a~4118d: 第2可動ミラー  
 4120: 光線束の中心光路

第9の実施の形態における動作例

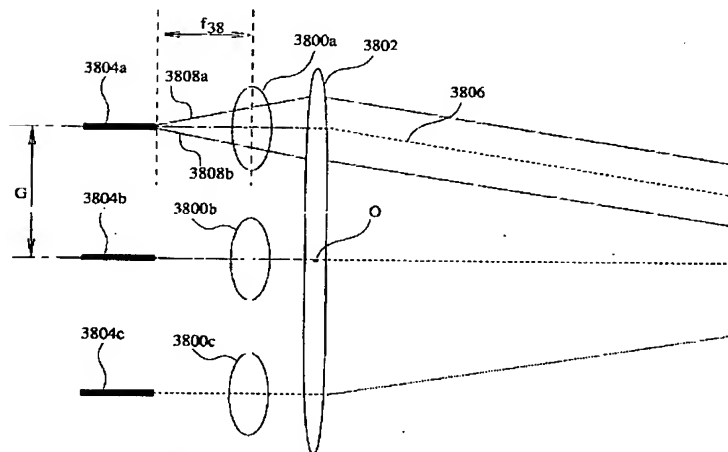
(特) 2002-214546 (P2002-214546A)

【図37】



第8の実施の形態の光スイッチの例 (光学素子はリレーレンズ)

【図38】

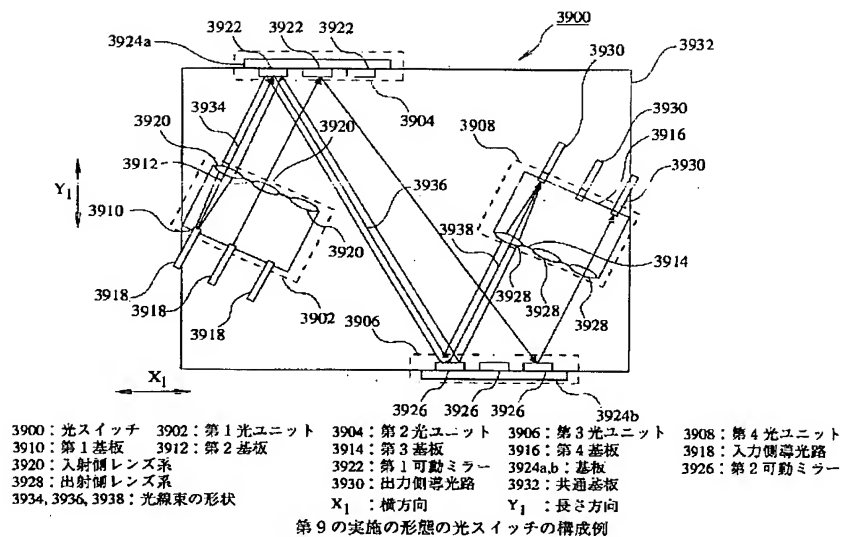


3800a~3800c: 可動レンズ 3802: 凸レンズ 3804a~3804c: 光ファイバ 3806: 光線束の中心光路  
 3808a, 3808b: 光線束の形状  $f_{38}$ : 可動レンズ3800aの焦点距離

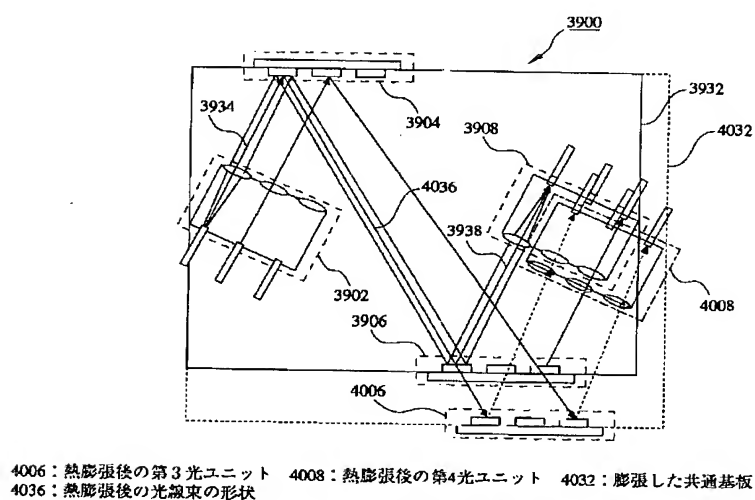
レンズ系に凸レンズを挿入した場合の動作例

(45) 02-214546 (P2002-214546A)

【図39】



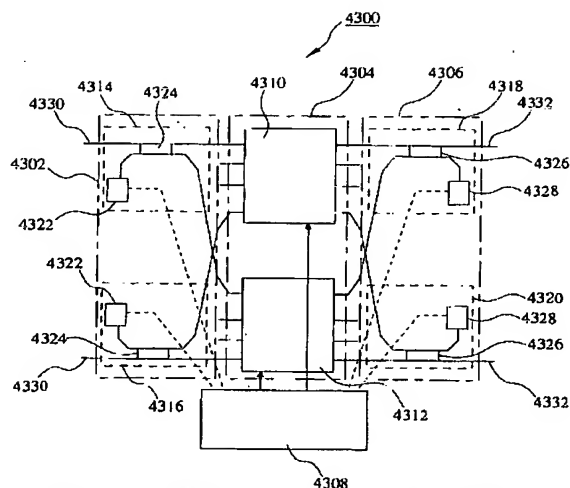
【図40】





(46) 102-214546 (P2002-214546A)

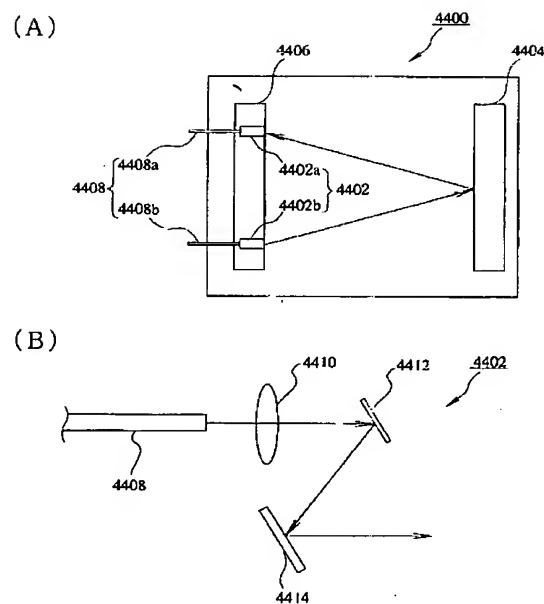
【図43】



- 4300: 光スイッチ装置      4302: スイッチング用可動部  
 4304: 光スイッチ      4308: 動作制御部  
 4306: モニタ部      4310: 第1の光スイッチ      4312: 第2の光スイッチ  
 4314: 第1の光信号導入手段      4316: 第2の光信号導入手段  
 4318: 第1の光信号出力手段      4320: 第2の光信号出力手段  
 4322: 監視用信号出力源      4324: 信号合成部 (入力側カプラ)  
 4326: 光信号分配部 (出力側カプラ)  
 4328: モニタ      4330: 入力側導光路  
 4332: 出力側導光路

第10の実施の形態の構成例

【図44】



- 4400: 従来の光スイッチ      4402: 光偏向素子      4404: ミラー  
 4406: 基板      4408: 光ファイバ  
 4410: コリメートレンズ      4412: 固定ミラー  
 4414: 可動ミラー

従来の光スイッチの構成例